VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

КЛАССИКИ НАУКИ





Moisei Alexandrovich MARKOV

SELECTED WORKS

Volume II

GRAVITATION AND COSMOLOGY
PUBLICISTIC ARTICLES
RECOLLECTIONS ABOUT PHYSICISTS
AUTOBIOGRAPHICAL NOTES
APPENDIX:
MISTAKE OF PHYSIOLOGIST NU
REFLECTING ON THE UNIVERSE



MOSCOW «NAUKA» 2001

Моисей Александрович
МАРКОВ

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

Том II

ГРАВИТАЦИЯ И КОСМОЛОГИЯ
ПУБЛИЦИСТИЧЕСКИЕ СТАТЬИ
ВОСПОМИНАНИЯ О ФИЗИКАХ
АВТОБИОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ
ПРИЛОЖЕНИЯ:
ОШИБКА ФИЗИОЛОГА НЮ
РАЗМЫШЛЯЯ О ВСЕЛЕННОЙ



МОСКВА «НАУКА» 2001

УДК 539.12
ББК 22.31
М 26

Серия "Классики науки"
Основана академиком С.И. ВАВИЛОВЫМ в 1945 г.

Редакционная коллегия серии:

П.В. СИМОНОВ (председатель), В.А. КАБАНОВ, С.П. КАПИЦА,
Ю.А. ОСИПЬЯН, А.М. ПРОХОРОВ, А.С. СПИРИН, К.В. ФРОЛОВ,
А.Н. ШАМИН

Ответственный редактор

академик В.А. МАТВЕЕВ

Редакторы-составители:

А.М. БАЛДИН, Г.Т. ЗАЦЕПИН, В.Г. КАДЫШЕВСКИЙ, В.А. РУБАКОВ,
А.Н. СКРИНСКИЙ, А.Н. ТАВХЕЛИДЗЕ, А.Е. ЧУДАКОВ,
В.А. БЕРЕЗИН, И.М. ЖЕЛЕЗНЫХ, А.А. КОМАР

Моисей Александрович Марков

Избранные труды: В 2 т. Т. II. Гравитация и космология, публицистические статьи, воспоминания о физиках, автобиографические заметки, приложения. – М.: Наука, 2001. – 640 с. (Сер. "Классики науки")

ISBN 5-02-002498-8

ISBN 5-02-002659-X (Т. II)

В настоящее издание вошли труды выдающегося физика, философа, организатора науки и общественного деятеля академика Моисея Александровича Маркова (1908–1994) по гравитации и космологии, научно-популярные и публицистические статьи, его воспоминания о встречах с известными отечественными и зарубежными учеными.

Эссе "Из далекого прошлого" (бытовые зарисовки 10-х и 20-х годов) и научно-фантастическая повесть "Ошибка физиолога Ню" дадут читателю возможность познакомиться с литературными произведениями М.А. Маркова – тонкого психолога и стилиста. Издание завершается статьей "Размышляя о вселенной", над которой М.А. Марков работал до последнего дня своей жизни.

Для специалистов в области теоретической и экспериментальной физики, аспирантов, студентов и всех интересующихся философией и историей науки.

ТП-2001-II-N161

ISBN 5-02-002498-8
ISBN 5-02-002659-X (Т. II)

© Издательство "Наука", 2001
© Российская академия наук и издательство "Наука", серия "Классики науки" (разработка, оформление), 1945 (год основания), 2001

I

ГРАВИТАЦИЯ И КОСМОЛОГИЯ

РАЗМЫШЛЯЯ О ФИЗИКЕ...*

Что меня действительно интересует, это имел ли Бог выбор в творении мира.

А. Эйнштейн

ВВЕДЕНИЕ

В этом разделе идет речь о будущем физики, естественно, в аспекте субъективных размышлений...

Автор считает вместе с Фридманом (см. очерк "Александр Александрович Фридман", с. 439–447), что "нам, к счастью, не дано видеть будущего". Это утверждение не только делается на основе исторического опыта времени А.А. Фридмана, но и некоторого опыта автора. Дело в том, что в 1962 г. на очередной конференции по физике элементарных частиц (точнее, так называемой физике высоких энергий) в Женеве я просил многих участников конференции записать в моем блокноте, что существенного произойдет в теоретической физике в течение будущей четверти столетия. К настоящему моменту (1990 г.) уже прошло более четверти века. Пророков не оказалось... Записи не имеют никакого отношения к теоретической физике настоящего момента. Только страничка Ли, написанная иероглифами, свидетельствует о китайской мудрости. Если мне правильно перевели на русский язык, то приведенные ниже иероглифы гласят:

"*Есть сто необыкновенных людей, есть сто необыкновенных путей*".

Трудно предсказать, в каком виде теоретическая физика возникает в будущем, но в каждый данный момент обычно формулируются в конкретной форме те задачи, которые кажется необходимым решить с точки зрения именно данного момента.

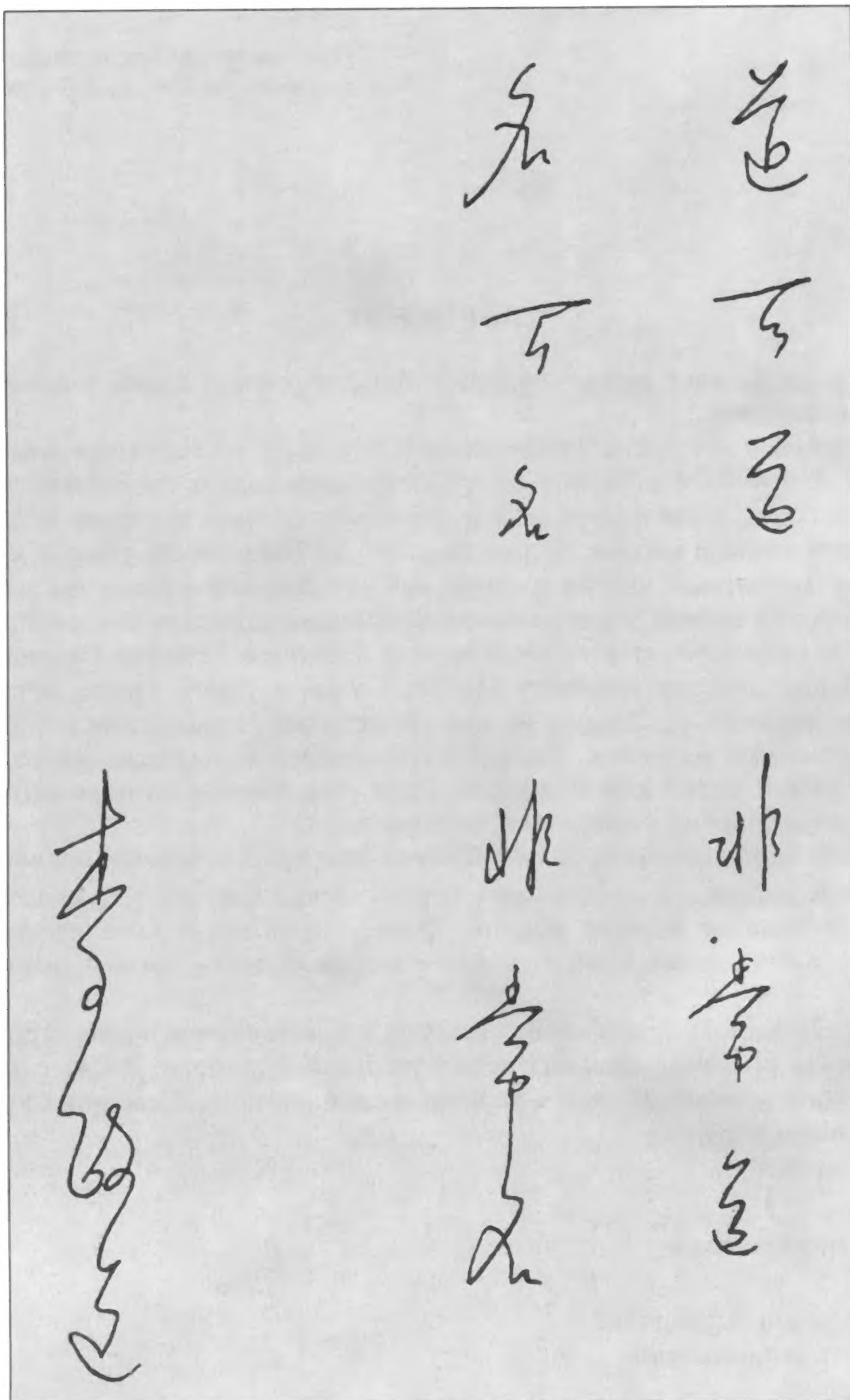
В 1956 г. П.А.М. Дирак в своем докладе на семинаре в Дубне сформулировал ряд конкретных проблем, стоящих перед физикой будущего. Доску с написанными им формулами и перечнем задач я перенес в свой кабинет. Семь проблем написаны Дираком в таком порядке:

1. Бесконечности.
2. $e^2 / \hbar c$.
3. Нуклоны и мезоны.
4. M/m.
5. Фундаментальная длина.
6. Гравитационное поле.
7. Нейтрино.

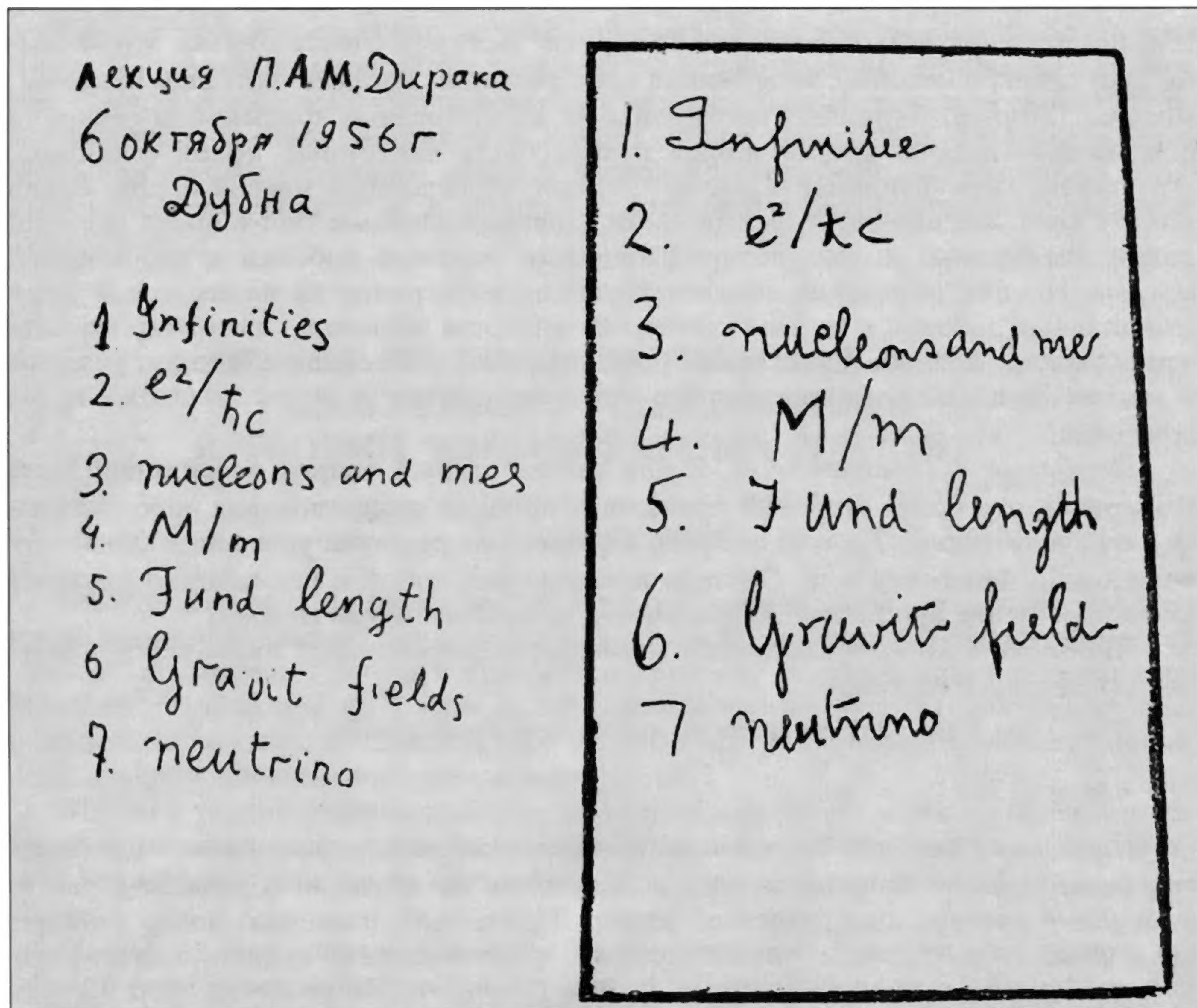
Этот список имеет 40-летнюю давность. Что же по этому списку проблем можно сказать сегодня?

---

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 92–95.



Иероглифы Ли



Семь проблем Дирака

Бесконечности (1). В настоящее время здесь возникло понимание того, что в рамках теории конкретного поля, взятого в отдельности, изгнать бесконечности, по-видимому, невозможно. Видимо, природа так устроена, что только все существующие поля вместе способны решить эту проблему. Говоря конкретно, появились соображения в пользу того, что во всем семействе полей бесконечности, о которых идет речь, возможно, входят с противоположными знаками, которые способны избавить от них только полную теорию полей. С другой стороны, появились основания полагать, что при учете во всех полях роли гравитационного поля в природе реализуется фундаментальная длина, именно длина Планка ($l_{\text{Pl}} = \sqrt{\hbar\varkappa/c^3} \sim 10^{-33}$ см), что гравитационное поле определяет автоматически предельную длину в процессе ее измерения (*проблема 5*) и соответственно предельную энергию излучаемого кванта поля минимальных пространственных размеров.

Что касается так называемых элементарных частиц (в списке Дирака это *проблема 3*: нуклоны и мезоны), то возникли представления, согласно которым нуклоны и мезоны (точнее, барионы) построены из своеобразных фермионов (кварков) с помощью целого класса новых безмассовых векторных полей (глюонов). Это значит, что фундаментальные частицы, обладающие массой покоя, отличной от нуля, все являются фермионами. Другими словами, они в полях глюонов, как и электроны, имеют логарифмические полевые добавки к собственным массам. Но при обрезании соответствующих интегралов на планковской длине эти полевые добавки к массам частиц оказываются настолько ничтожно малыми, что возникает новый вопрос: каким образом в будущей теории возникнут различия в массах фундаментальных частиц, если они не могут быть *полевого* происхождения.

Проблема 6 (гравитация). С ней связан старый вопрос о принципе Маха. Возможно, что более широкий принцип – "принцип существования пространства" ($g_{\mu\nu} \neq 0$, если только $T_{\mu\nu} \neq 0$) в случае ограничения решений уравнений Эйнштейна решениями Фридмана и де Ситтера представляет собой и реализацию принципа Маха, и решение проблемы сингулярности космологических метрик.

Проблема 4 (M/m) в настоящее время представляет собой лишь часть проблемы 3 (нуклоны и мезоны).

Проблема 2 ($e^2 / \hbar c$) остается интригующей проблемой:

$$\sqrt{\hbar c} = \sqrt{137}e\,?$$

Проблема 7 (нейтрино) к настоящему времени сильно усложнилась: возникли три различных по природе нейтрино. Случайно ли их число совпадает с числом измерений нашего пространства? Книгу "Нейтрино", изданную более четверти века назад (1964 г.), я закончил словами: «Современнику трудно гадать, какое истинное место займет нейтрино в физике будущего. Но свойства этой частицы столь элементарны и своеобразны, что естественно думать, что природа создала нейтрино с какими-то глубокими, пока для нас не всегда ясными "целями"...» Эти слова в полной мере остаются справедливыми до настоящего (1991 г.) момента. (Книга содержит и цикл статей автора, посвященных теории и эксперименту нейтрино.)

Перефразируя известные слова Эйнштейна, хочется задать вопрос: мог бы Бог создать мир, не используя нейтрино? Не придется ли вернуться к старой идее, согласно которой свет состоит из нейтрино и, может быть, в будущей теории и все светоподобные кванты (глюоны) по своей природе состоят из ферми-частиц?..

P.S. Следует дополнить вышеизложенное тем, что в настоящее время точка зрения автора на пространственно-временны́е свойства вблизи гравитационной сингулярности резко изменилась. Согласно новой точке зрения автора, в области длины Планка пространственно-временно́е описание коллапса теряет свой смысл и появляется абсолютная свобода в возникновении новых параметров (энтропии, "голой массы") коллапсирующего объекта.

Цикл статей, посвященных космологии, показывает постепенное развитие идеи статьи "О возможном состоянии вещества..." в своеобразную концепцию, связанную с предположением о существовании в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий и в конце концов нарушения детерминизма в состоянии коллапсирующего объекта вблизи классической сингулярности. Этот цикл статей реферируется в обзоре "О возможных модификациях уравнений Эйнштейна".

МОЖЕТ ЛИ ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ ОКАЗАТЬСЯ СУЩЕСТВЕННЫМ В ТЕОРИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ?*

§ 1. ВВЕДЕНИЕ

Многочисленные попытки ввести в рамках специальной теории относительности фундаментальную длину, чтобы построить свободную от расходимостей теорию[1], показывают, что это неизбежно приводит к нарушению принципа причинности. Отличается ли в этом смысле общая теория относительности от специальной теории относительности? Дает ли общая теория относительности больше возможностей для введения протяженных частиц?

В общей теории относительности действительно естественным образом появляется определенная длина, характеризующая размеры Вселенной как целого (радиус Вселенной). Эта длина прекрасно согласуется с причинным формализмом теории.

Может ли эта теория, имеющая целью описание свойств пространства и времени (пространственной метрики), оказаться верной не только в большом, но и в малом?

Известно, что в области малых расстояний общая теория относительности рассматривает две длины. Одна из них – гравитационный радиус [6, 7]

$$r_{\text{гр}} = \frac{2\varkappa m}{c^2}, \tag{1}$$

где m – масса частицы, $\varkappa$ – гравитационная постоянная, c – скорость света.

---

* Can the Gravitational Field Prove Essential for the Theory of Elementary Particles? // Progr. Theor. Phys., Suppl. Extra Number. 1965. P. 85. На рус. яз.: Альберт Эйнштейн и теория относительности. М.: Мир, 1979. С. 467–478.

[1] Из рассмотрения проблемы Шварцшильда для электрически заряженных частиц (см. Приложение) следует, что общая теория относительности выдвигает сильные возражения против выделения расходящихся величин путем формальной процедуры вычитания. Такая процедура, обычно применяемая в электродинамике (и в перенормируемых теориях вообще), приводит, в частности, к замене на малых расстояниях (< 10^{-13} см) гравитационного притяжения гравитационным отталкиванием, причем, как показывает анализ, это обусловлено исключительно внутренней противоречивостью такой процедуры.

Другая длина универсальна; она может быть построена только из универсальных постоянных [19]:

$$l_0 = \sqrt{\frac{\varkappa \hbar}{c^3}} \approx 10^{-33}\ \text{см}, \qquad (2)$$

содержит постоянную Планка и, следовательно, в какой-то мере связана с будущей квантовой теорией гравитационного поля.

Малость величин $r_{\text{гр}}$ и l_0 по сравнению с обычно рассматриваемыми в теории элементарных частиц длинами делает их сомнительными претендентами на роль фундаментальных длин.

Однако анализ показывает, что сейчас у нас фактически нет удовлетворительного критерия для численного значения фундаментальной длины будущей теории[2].

Действительно, четверть века назад в качестве фундаментальной длины рассматривался так называемый классический "радиус электрона" ($e^2/mc^2 = 2{,}8\cdot 10^{-13}$ см). Сегодня лишь устаревший термин ("радиус электрона") напоминает нам о былом значении этой величины.

В последние годы на роль фундаментальной длины претендует или может претендовать характеристическая длина барионных масс (10^{-14} см), если, конечно, кванты полей, сильно взаимодействующих с барионами, и в особенности π, К и другие мезоны, не окажутся составными частицами.

Если же мы, кроме того, предположим, что и сами барионы состоят из "кварков", которые тогда окажутся элементарными объектами, то нам придется пока допустить, что у таких частиц произвольно большие массы и произвольно малые размеры[3].

Хотя такие рассуждения в настоящее время и возможны и даже интересны в некоторых отношениях (§ 3), пока еще нет оснований утверждать, что обсуждаемые здесь длины связаны непосредственным числовым равенством с этими гипотетическими частицами.

Более того, электродинамика дает нам убедительные примеры, когда не существует такого непосредственного равенства.

Если элементарными в вышеупомянутом смысле частицами являются, например, электроны, то тогда в электродинамике с ее логарифмическими расходимостями можно будет обрезать интегралы вблизи гравитационного радиуса электрона [1, 11, 14]. Известно, что слабые четырехфермионные взаимодействия дают добавки к массе электрона порядка самой электронной массы, когда интегралы обрезаны на длинах, характеризующих слабое взаимодействие ($\sim 7\cdot 10^{-17}$ см). Однако

---

[2] Строго говоря, нет даже уверенности, что фундаментальная длина будет нужна в будущей теории. Это лишь одна из возможных черт обсуждаемой здесь будущей теории.

[3] Барионные длины слишком велики для электродинамики в ее общепринятом максвелловском варианте (из-за логарифмической расходимости).

Необходимо четко осознать, что в теориях с фундаментальными длинами порядка барионных невозможна интерпретация электронной массы как источника поля. Другими словами, в этом случае мы должны расстаться с идеей, которая долго была для нас как бы путеводной звездой.

эти добавки к массе могут быть и отрицательными [13]. Таким образом, они в этом случае могут быть лишь вычтены из большой начальной массы электрона неизвестного происхождения. Кроме того, можем ли мы быть уверены, что у нас сейчас имеется адекватная теория слабых взаимодействий и что последние по своей природе являются четырехфермионными (см. идеи Юкавы о промежуточном мезоне [20] и т.п.[4]).

Таким образом, гипотеза о малых длинах будущей теории вполне допустима и, возможно даже, она будет соответствовать духу современных тенденций (§ 3), хотя и может повлечь за собой весьма экзотические допущения об иерархии частиц (их систематике).

Однако главный интерес в обсуждаемой проблеме заключается в вопросе: могут ли в действительности обсуждавшиеся выше величины $r_{гр}$, l_0 вести себя в каком-то смысле как обрезающие длины в общей теории относительности? Появление конечных величин вместо бесконечных могло бы само по себе (даже если отвлечься вначале от их численного значения) иметь огромное эвристическое и методологическое значение как пример настоящей теории, свободной от трудностей, связанных с расходимостями.

Естественно предположить, что непротиворечивая теория элементарных частиц может появиться лишь как квантовая теория. Однако прежде чем перейти к описанию ситуации в квантовой теории (§ 3), стоит, как мы увидим позже, проанализировать классические аспекты проблемы.

§ 2. СФЕРА ШВАРЦШИЛЬДА

"Внешнее" сферически-симметричное решение уравнений Эйнштейна в пустом пространстве в статической системе отсчета ($\partial g_{\mu\nu}/\partial t = 0$) приводит, как известно, к метрике [18]

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_{гр}}{r}\right) c^2 dt^2 - \frac{dr^2}{1-(r_{гр}/r)} - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \tag{3}$$

$$r_{гр} = \frac{2m\varkappa}{c^2},$$

где m – масса, локализованная где-то внутри сферы радиусом $r_1 > r_{гр}$, $\varkappa$ – гравитационная постоянная.

В этой системе отсчета все $r < r_{гр}$ ($r_{гр}$ – радиус сферы Шварцшильда) теряют свой смысл.

Идее связать гравитационный радиус непосредственно с размером "истинно элементарной частицы", как известно, противоречит то, что особенность на сфере Шварцшильда устраняется преобразованием координат[5] (переходом к нестатической метрике) [8, 10].

---

[4] Т.е. промежуточный мезон, а также электрон в данном случае также могут быть составными частицами в вышеупомянутом смысле.

[5] Соответствующие римановы инварианты имеют особенность в нуле и регулярны на сфере Шварцшильда.

Очевидно, что сама по себе сфера Шварцшильда не может автоматически выступать в роли формфактора. Известно, например, что закон Кулона для точечного заряда в шварцшильдовской системе отсчета сохраняет свою форму вблизи нуля[6].

Но, может быть, следует поставить вопрос иначе. Нельзя ли наполнить понятие сферы Шварцшильда новым содержанием в переносном или даже прямом смысле этого слова, т.е. в смысле определенной расширенной модели, и таким образом зафиксировать эту сферу с помощью дополнительных условий, придающих ей определенный физический смысл?

Целесообразность таких попыток можно обосновать следующим. Как известно, трудность формального введения (с помощью формфакторов) протяженных частиц в специальной теории относительности связана с тем, что сигнал вдоль протяженной частицы должен в противоречии с принципом причинности распространяться с бесконечно большой скоростью. Причем это явление трудно локализовать (ограничить малой областью пространства).

В пространстве же Шварцшильда луч света распространяется к центру симметрии ($\theta = \text{const}$, $\varphi = \text{const}$) со скоростью

$$\frac{dr}{dt} = -c\left(1 - \frac{r_{\text{гр}}}{r}\right). \tag{6}$$

Другими словами, радиальное распространение света замедляется и лишь за бесконечно большое (для внешнего наблюдателя) время волновой фронт сможет сколь угодно близко подойти к сфере Шварцшильда, никогда ее не пересекая.

Возможно, что в данном случае окажется легче локализовать нарушение причинности в малой области[7]. Проблема нарушения причинности, по-видимому, отпадает, если информация из области нарушения причинности не сможет быть передана внешнему наблюдателю за конечное время.

Создается впечатление, что природа дает нам в сфере Шварцшильда нетривиальный образец "жизненных условий", пригодных для существования протяжен-

---

[6] В случае электростатического поля

$$F_{14} = \frac{e}{r^2}\sqrt{-g_{00}g_{11}}. \tag{4}$$

Но для метрики Шварцшильда (3) мы имеем $g_{00}g_{11} = -1$.

Для скалярного [2] статического случая мы в то же время получаем

$$U' = \frac{cG}{r^2}\sqrt{-\frac{g_{11}}{g_{00}}}, \quad \text{где } U' = \frac{\partial U}{\partial r} \tag{5}$$

Следовательно, поведение скалярного статического поля в нуле существенно изменяется при наличии гравитационного поля.

[7] Заметим, что существует класс систем, в которых сохраняется причинное описание: требуют дальнейшего анализа нестатические координатные системы. Еще предстоит выяснить, могут ли в реальных условиях современной физики элементарных частиц быть построены "непричинные" координатные системы и может ли быть получена с их помощью информация о нарушении причинности.

ной частицы. Правда, этот образец скорее подобен миражу и остается таким до тех пор, пока не сделаны дополнительные предположения о свойствах протяженных частиц.

Из последующего станет ясно, что придать универсальной сфере Шварцшильда некоторый физический смысл, существенный с точки зрения теории элементарных частиц, удастся, возможно, в квантовой области.

§ 3. ДЛИНА $l_0 = \sqrt{\hbar\varkappa/c^3}$

Используя универсальные постоянные: планковскую константу $\hbar$, гравитационную постоянную $\varkappa$ и скорость света c, мы можем построить величину с размерностью длины

$$l_0 = \sqrt{\frac{\hbar\varkappa}{c^3}}.$$

Эта величина связана с квантовыми флуктуациями метрики [15, 19].

Если l_0 – действительно такая длина, что для любой меньшей длины понятие расстояния между двумя точками и особенно между двумя пространственными точками ($ds^2 = g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu$, где компоненты $g_{\mu\nu}$ полностью неопределенны) теряет смысл, то трудно и помышлять о лучшей возможности для конкретной реализации идеи о нелокальной теории[8].

Однако в противовес феноменологическим концепциям этих теорий, где константа с размерностью длины насильно вводится в четырехмерный континуум и в которых по определению имеют смысл сколь угодно малые расстояния, можно надеяться, что длина l_0 автоматически появится в полевой теории, учитывающей и гравитационные эффекты [5].

Длина l_0 обладает различными нетривиальными свойствами [19].

1. Квант волны с длиной l_0 несет энергию

$$E = \frac{\hbar c}{l_0} = \left(\frac{\hbar c}{\varkappa}\right)^{1/2} c^2 \tag{7}$$

и, следовательно, массу

$$m_0 = \left(\frac{\hbar c}{\varkappa}\right)^{1/2}. \tag{8}$$

Масса эта (10^{-5} г!) сильно отличается от масс известных элементарных частиц.

Но если предположить, что существуют стабильные элементарные частицы с такими массами, то гравитационное взаимодействие двух частиц с массой m_0 оказы-

[8] См., например, цикл работ Юкавы [20–26], в которых можно проследить развитие идей о нелокальной теории вплоть до их приложения к систематике элементарных частиц.

вается равным

$$-\varkappa\frac{m_0^2}{r}=-\frac{\hbar c}{r}. \qquad (9)$$

Это означает, что гравитационное взаимодействие двух таких частиц в $\hbar c/\varepsilon^2$ раз сильнее их кулоновского взаимодействия, если эти частицы обладают электрическими зарядами $\varepsilon \leqslant e$.

2. Следовательно, в этом случае частицы с электрическими зарядами одного знака могут образовывать связанные системы под действием одних лишь гравитационных сил.

И наоборот, эта возможность для электрически заряженных частиц ($\varepsilon \sim e$) не появится, если их массы не будут близки к m_0.

3. Радиус таких связанных систем ("гравитационный радиус Бора"), вычисленный на основании соотношения неопределенностей Гейзенберга, оказывается порядка

$$r_0 \sim \frac{\hbar^2}{\varkappa m_0^3}=l_0, \qquad (10)$$

т.е. размеры этих систем оказываются порядка тех же элементарных длин l_0, что приводит к большим дефектам массы – порядка m_0[9].

Здесь нам необходимо заново обратиться к хорошо известной ситуации в релятивистской проблеме Кеплера для электрона в поле кулоновского центра большого электрического заряда. Когда заряд точечного ядра Z возрастает и приближается к своему критическому значению $Ze^2 = \hbar c$ [как в случае (9)], то особенность в ψ-функции (слабая при малых Z) сильно возрастает вблизи нуля:

$$\psi \underset{r\to 0}{\sim} r^{\sqrt{1-(Ze^2/\hbar c)^2}-1} \to r^{-1}. \qquad (11)$$

Такой рост ψ-функции вблизи нуля ("падение" частиц на кулоновский центр) указывает на возможность более сильной связи в рассматриваемых системах, и не исключено, что в будущей теории истинная масса частиц, порождаемых частицами с массой m_0, окажется весьма малой по сравнению с m_0. Весьма заманчиво приписать массу m_0 кваркам[10].

Так как, согласно этой концепции, гравитационные силы снова оказываются доминирующими на предельно малых расстояниях, силы с более резкой зави-

---

[9] $\Delta E \sim \varkappa\frac{m_0^2}{l_0}=\left(\frac{\hbar c}{\varkappa}\right)^{1/2} c^2 = m_0 c^2.$

[10] Многие свойства этих частиц отличны от свойств кварков. Далее я называю эти новые частицы "максимонами".

симостью от r (ядерные, возможно слабые и даже электромагнитные) должны возникать лишь в составных образованиях (аналогично силам Ван-дер-Ваальса в молекулярной физике[11]).

4. Гравитационный радиус, соответствующий массе m_0, оказывается равным

$$r^0_{\text{гр}} = \frac{2m_0\varkappa}{c^2} = 2l_0. \tag{12}$$

Если бы гравитационный радиус оказался в данном случае меньше длины l_0, а величину l_0 действительно можно было бы рассматривать как минимальную длину будущей теории элементарных частиц, то соответствующий гравитационный радиус не играл бы никакой роли в данной теории[12].

Длина l_0 и шварцшильдовский гравитационный радиус соответствующего кванта поля, столь различные по природе, оказываются тем не менее величинами с удивительно близкими численными значениями.

Во всяком случае, радиус сферы Шварцшильда $r^0_{\text{гр}}$ обретает совершенно новый физический смысл. Можно сказать, что имеется как бы некоторое "разделение труда" между длинами l_0 и $r^0_{\text{гр}}$. "Задача" величины l_0 – лишить понятие пространства внутри сферы Шварцшильда его физического смысла, а "задача" величины $r^0_{\text{гр}}$ (сферы Шварцшильда) состоит в том, чтобы отделить эту область от реального

---

[11] Поведение частиц с максимально большими массами m_0 (скажем, "максимонов") должно быть весьма необычным. Нейтральные частицы, участвуя лишь в гравитационном взаимодействии, являются практически необнаруживаемыми. Электрически заряженные частицы (кварки?) при скоростях, которых эти частицы могут достичь в гравитационных полях небесных тел (v порядка от 10^6 до 10^7 см/с), не должны, несмотря на их огромную кинетическую энергию ($m_0v^2/2$ порядка от 10^{19} до 10^{20} эВ), оставлять ионизационные треки (максимальная энергия, передаваемая такой частицей электрону, $T_{\text{макс}} = 2m_{\text{эл}}v^2 < 0{,}1$ эВ). Двигаясь внутри планеты по орбитам с медленно меняющимся радиусом (теряя энергию за счет длинноволнового электромагнитного излучения, а также акустического и теплового излучения), эти частицы накапливаются после долгого пути в центре Земли, где образуют связанные системы и выделяют большую энергию, увеличивая температуру Земли. При таких предположениях можно найти верхний предел для возможного потока таких частиц, падающих на Землю из соответствующей "атмосферы", которая существует внутри Солнечной системы. Если температура Земли стационарна и тепло H_v, выделяемое в среднем на единицу объема Земли, порядка $2\cdot10^{-1}$ МэВ$\cdot$см$^{-3}\cdot$с$^{-1}$, то мы получим для плотности потока частиц N ограничение $N < 10^{-14}$ частица/с$\cdot$см^2.

[12] Гравитационные радиусы известных элементарных частиц не могут иметь какого-либо физического смысла в квантовой области, поскольку все эти величины меньше l_0, т.е. с этой точки зрения все известные "элементарные частицы" или по крайней мере те, которые обладают ненулевыми массами, должны быть вторичными образованиями.

Для m_0 мы имеем

$$\frac{\hbar}{m_0c} = \left(\frac{\hbar\varkappa}{c^3}\right)^{1/2} = l_0.$$

мира физических явлений, полностью сохранив в нем причинные связи в их первоначальном виде (§ 2).

5. Расходящиеся интегралы квантовой теории поля берут по всей области квантовой энергии вплоть до бесконечных значений, причем полностью пренебрегают бесконечно большими гравитационными эффектами [1, 11, 14].

К сожалению, пока не создана корректная в этом смысле теория, мы можем только догадываться о масштабах трудностей, обусловленных пренебрежением гравитационными эффектами[13].

6. Мы не коснулись очень интересных топологических подходов к проблемам элементарных частиц [8, 10, 19], которые также весьма специфичны для общей теории относительности и к тому же тем или иным образом связаны с особенностями решения Шварцшильда.

К сожалению, в последовательной топологической картине материи, очевидно, нет места источнику ферми-частиц.

Еще со времени появления математической возможности конструировать величины различных тензорных размерностей из спинорных величин живет идея о построении "элементарных частиц" из спинорного поля.

Интересным примером такого направления может служить нелинейное уравнение Гейзенберга для некоего фундаментального фермионного поля.

Если следовать этому направлению, предполагающему существование некоего фундаментального фермионного поля, то можно попытаться (как одну из гипотез такого рода) принять в качестве этого фундаментального поля, скажем, нейтринное поле. Тогда в принципе можно выделить гравитационное поле из системы, состоящей из уравнения для гравитационного поля с тензором энергии-импульса T_μ^ν нейтринного поля в качестве источника

$$R_\mu^\nu - \frac{1}{2} g_\mu^\nu R = -\varkappa T_\mu^\nu$$

и уравнения Дирака для нейтрино в ковариантном виде.

В результате мы получим некоторое нелинейное уравнение для фермионного поля. Вывод и анализ даже приближенных уравнений такого рода весьма сложны. Подобные исследования находятся пока еще в зачаточной стадии, и в настоящее время нельзя судить, в какой степени разные решения этих уравнений сравнимы с различными элементарными частицами в духе идей, начало которым положил Гейзенберг. Но это уравнение органически учитывает гравитационные эффекты, и если соображения о фундаментальной роли длины, построенной из содержащихся в данном уравнении констант $\hbar$, $\varkappa$ и c, верны, то оно не должно приводить к трудностям, связанным с

---

[13] Согласно соотношению неопределенностей, квант с массой, большей, чем критическая масса $m_0 = (\hbar c / \varkappa)^{1/2}$, может появиться в промежуточных состояниях лишь на таких расстояниях от источников, которые меньше критической длины l_0.

Имеет ли при таких условиях физический смысл процесс излучения?

расходимостью[14], а соответствующие функции распространения должны существенно измениться.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Статическое сферически-симметричное гравитационное поле электрона (с массой m и зарядом e) описывается, как известно, фундаментальным тензором с компонентами [18]

$$g_{00} = 1 - \frac{2\mu}{r} + \frac{e^2}{r^2}; \quad g_{11} = -(g_{00})^{-1};$$
$$g_{22} = -r^2; \quad g_{33} = -r^2 \sin^2\theta. \qquad (13)$$

Полная энергия поля Шварцшильда заряженных частиц, вычисленная канонически способом в соответствующей (декартовой на бесконечности) системе отсчета, оказывается точно равной[15]

$$E = \mu c^2.$$

Если полная масса имеет электромагнитное происхождение, то мы получаем $\mu = 0$ при $e = 0$.

Для точечного электрона имеем

$$\mu^{\text{эл}} = \frac{e^2}{r} \xrightarrow[r \to 0]{} \infty,$$

и соответствующий радиус Шварцшильда становится бесконечно большим.

Конечная величина μ в выражении для g_{00} [формула (13)] означает либо наличие конечных размеров у электрона, либо соответствующую перенормировку его массы.

В первом случае мы можем без труда предположить, что

$$\mu^{\text{эл}} = \frac{e^2}{a},$$

где a – "радиус" электрона.

Интерпретация третьего члена в компоненте $g_{00} = 1 - (2\mu/r) + (e^2/r^2)$ ясна: на бесконечности им можно пренебречь по сравнению с $2\mu/r$, так что полная масса

---

[14] Например, в задаче, рассмотренной Де-Виттом [5], обмен гравитонами между двумя скалярными частицами приводит (в лестничном приближении) к появлению в функции Грина скорректированного интервала

$$X_\mu^2 \to X_\mu^2 - \lambda^2, \text{ где } \lambda = (4\hbar\varkappa/\pi c^3)^{1/2}.$$

Ранее подобного вида интервал был введен в нелокальных теориях [12] феноменологически. При этом особенность в соответствующих функциях распространения смещается с конуса на гиперболоид.

[15] Данный вопрос подробно рассматривается в работе [9].

электростатического поля на бесконечности заключена в гравитационной массе электрона, его гравитационном потенциале μ/r.

Когда пробное нейтральное тело приближается к электрону на расстояние r_1, его эффективная гравитационная масса уменьшается на e^2/r_1, поскольку электростатическое поле, занимающее область $r > r_1$, не оказывает более гравитационного воздействия на пробное тело.

При $r < a$ вся масса электромагнитного поля перестает участвовать в гравитационном взаимодействии. В этом случае для члена e^2/r^2 неравенство $r < a$ не может выполняться по определению. Следовательно, член e^2/r^2 никогда не сможет быть больше члена $2\mu/r$, т.е. гравитационное притяжение не может перейти в гравитационное отталкивание.

В классической физике была одна интересная возможность практической регуляризации электромагнитной массы электрона, предложенная когда-то Штюкельбергом [17]. Эта регуляризация автоматически выполняется в том случае, когда электрон ко всему еще оказывается источником скалярного юкавского поля [20]:

$$U = -e\frac{e^{-mr}}{r}.$$

Дело в том, что соответствующая масса источника скалярного поля отрицательна ($\mu = \mu^{эл} - \mu^{скал}$). Поэтому в решении задачи Шварцшильда к g_{00} добавляется член $\varphi(r)$, по знаку противоположный[16] члену e^2/r^2.

Точное выражение для юкавского поля $\varphi(r)$ не было найдено. Однако поведение поля $\varphi(r)$ в нуле существенно отличается от той особенности, которой обладает кулоновское поле [2, 18]. В случае скалярных квантов с бесконечно малой массой покоя особенность скалярного поля в общей теории относительности становится логарифмической [2], и, таким образом, практическая регуляризация по Штюкельбергу в рамках общей теории относительности также становится невозможной.

Формальная же перенормировка сводится к замене расходящегося значения массы в выражении для g_{00} ее экспериментальным значением. Поскольку в данном случае у нас электрон все еще является по определению точечным, член e^2/r^2 должен иметь смысл на любых малых расстояниях. Но уже при $r < 10^{-13}$ см гравитационное притяжение сменяется гравитационным отталкиванием. В этом можно видеть серьезное возражение против общепринятого метода перенормировки масс

---

[16] В первом порядке разложения по гравитационной константе $\varkappa$ компонента g_{00} при наличии полей Максвелла и Юкавы имеет вид [16]

$$g_{00} = 1 - \frac{2\mu}{r} + \frac{e^2}{r^2} - em\left[\frac{e^{-2mr}}{r} - m\,\mathrm{ei}(2mr)\right], \tag{14}$$

$$\mathrm{ei}(2mr) = \int_r^\infty \frac{e^{-2mt}}{t}dt.$$

вычитанием бесконечных постоянных, поскольку изменению знака гравитационных сил на малых расстояниях нельзя придать никакого физического смысла. Более того очевидно, что такое изменение полностью обусловлено несовершенством процедуры вычитания. Действительно, разность двух членов компоненты g_{00}

$$\frac{1}{2}\left(2\mu-\frac{e^2}{r}\right)=m(r)$$

по самому ее физическому смыслу есть масса поля, локализованного внутри сферы радиусом r. Если масса частицы имеет исключительно электромагнитную природу, то при $r = 0$ эти два члена должны взаимно компенсировать друг друга.

Искусственной процедурой вычитания мы изменили численное значение лишь первого члена, а второй член оставили неизменным. Иначе говоря, мы, с одной стороны, произвольно изменили массу поля во всем пространстве, а с другой стороны, оставили неизменной массу поля, локализованного внутри произвольного конечного объема. За такую непоследовательность мы и расплачиваемся тем, что при определенных (вообще говоря, не малых) расстояниях $r < 10^{-13}$ см гравитационное поле меняет свой знак.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1947. Т. 17. С. 848.
2. *Фишер И.* // Там же. 1948. Т. 18. С. 636.
3. *Blohincev D.I.* // Nuovo cim. 1960. Vol. 16. P. 382.
4. *Deser S.* // Rev. Mod. Phys. 1957. Vol. 29. P. 414.
5. *DeWitt B.* // Phys. Rev. Lett. 1964. Vol. 13. P. 114.
6. *Dirac P.A.M.* The motion of a extended particle in the gravitational field // Conf. intern. sur les théories relativistes de la gravitation, Warszawa et Jablonna, 1962. P.: Gauthier-Villars, 1964.
7. *Einstein A.* // Ann. Math. 1939. Vol. 40. P. 922.
8. *Einstein A., Rosen N.* // Phys. Rev. 1935. Vol. 48. P. 73.
9. *Florides P.* // Proc. Cambridge Philos. Soc. 1962. Vol. 58. P. 110.
10. *Kruskal M.D.* // Phys. Rev. 1960. Vol. 119. P. 1743.
11. *Landau L.D.* Niels Bohr and development of physics / Ed. W. Pauli with assistance of L. Rosenfeld and V. Weisskopf. L.: Pergamon press, 1955. P. 52.
12. *Markov M.A.* // Nucl. Phys. 1959. Vol. 10. P. 140.
13. *Markov M.A.* // Ibid. 1964. Vol. 55. P. 130.
14. *Pauli W.* // Helv. phys. acta. 1956. Suppl. 4: Bern congr. on relativity theory, 1955. P. 69.
15. *Regge T.* // Nuovo cim. 1958. Vol. 7. P. 215.
16. *Stephenson G.* // Proc. Cambridge Philos. Soc. 1962. Vol. 58. P. 521.
17. *Stückelberg E.* // Helv. phys. acta. 1945. Vol. 14. P. 21.
18. *Tolman R.* Relativity, thermodynamics and cosmology. Oxford, 1934.
19. *Wheeler J.A.* Neutrinos, gravitation and geometry // Rend. Schola Intern. Fis. "Enrico Fermi". 1960. Carso XI. P. 67–196.
20. *Yukawa H.* // Proc. Phys.-Math. Soc. Jap. 1935. Vol. 17. P. 48.
21. *Yukawa H.* // Phys. Rev. 1949. Vol. 76. P. 300.

22. *Yukawa H.* // Ibid. 1950. Vol. 77. P. 219.
23. *Yukawa H.* // Ibid. Vol. 80. P. 1047.
24. *Yukawa H.* // Ibid. 1953. Vol. 91. P. 415.
25. *Yukawa H.* // Progr. Theor. Phys. 1964. Vol. 31. P. 1167.
26. *Yukawa H., Katayama Y.* // Ibid. Vol. 32. P. 366.

ПРИНЦИП МАХА И ФИЗИЧЕСКИЙ ВАКУУМ В ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ*

Общая теория относительности в какой-то мере является и теорией пространственно-временно́го континуума. Во всяком случае, идея тесной связи свойств пространства и материи была той идеей, которая определяла многое в научном творчестве А. Эйнштейна – автора общей теории относительности.

В своей экстремистской форме эта идея содержала бы утверждение, что в отсутствие материи все $g_{\mu\nu}$ равны нулю, что в отсутствие материи нет понятия интервала ($ds^2 = g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu$), в отсутствие материи отсутствует и пространственно-временно́й континуум. Как известно, в такой экстремистской форме идея тесной связи пространства и материи не содержится в формализме общей теории относительности.

С появлением квантовой теории возникло понятие физического вакуума – реального объекта современной физики. Физический вакуум тоже в какой-то мере наделяет пустое пространство доквантовой физики специфическими свойствами материальности, которыми оно ранее не обладало.

В "пустом" пространстве могут появляться флуктуации различных материальных полей и т.д. Возникает вопрос, как существование физического вакуума может отразиться на идеях общей теории относительности?

Классическое уравнение Эйнштейна, написанное для случая пустоты, свободного от правой части

$$R_{\mu\nu} - \tfrac{1}{2}\delta_{\mu\nu}R = 0. \qquad (1)$$

В квантовой теории уравнение, соответствующее (1), обязательно должно содержать правую часть в виде суммы тензорных плотностей энергии по всем возможным негравитационным полям.

В отсутствие реальных частиц правая часть в этом уравнении должна описывать физический вакуум в его основном состоянии. Недавно возникла идея придать нулевым колебаниям физического вакуума смысл, связанный с так называемым Λ-членом уравнений общей теории относительности [1, 2].

Мы хотели бы обратить внимание на некоторые другие аспекты возможной роли физического вакуума в идеях общей теории относительности. Здесь имеется в

* Проблемы теоретической физики. М.: Наука, 1969. С. 26–27.

виду так называемый принцип Маха. В истории развития идей общего принципа относительности принципу Маха уделялось большое внимание. Концепция тождественности сил инерции и гравитации находит в принципе Маха, казалось бы, очень естественную реализацию.

Появление инерционных добавок к $g_{\mu\nu}$ на вращающемся теле (центробежные силы, кориолисовы ускорения) было заманчиво объяснить как гравитационный эффект вращения в гравитационном поле отдаленных звезд и, таким образом, утвердить монистическую точку зрения на природу поля $g_{\mu\nu}$ как гравитационного поля во всех его проявлениях.

Известный недостаток этой точки зрения заключается в том, что она не обязательна для всех космологических схем. Правда, можно использовать принцип Маха как принцип отбора для соответствующих вариантов теории.

Предметом нашего замечания является обсуждение возможной роли квантовых вакуумных флуктуаций в возникновении инерционных сил при вращении тел и образования поля $g_{\mu\nu}$ вообще. В вакууме за времена, допускаемые соотношениями неточностей Гейзенберга, возникают и исчезают пары различного рода частиц. Эти пары меняют значения $g_{\mu\nu}$ в окружающем пространстве, другими словами, первоначальные поля $g_{\mu\nu}$ превращаются в

$$g'_{\mu\nu} = g_{\mu\nu} + G_{\mu\nu}, \qquad (2)$$

где $G_{\mu\nu}$ после всякого рода усреднений не могут не быть константами[1].

В соотношении (2) "часть" $g_{\mu\nu}$ составляют $g_{\mu\nu}$ a priori, приписываемые классическому пустому пространству, а часть $G_{\mu\nu}$ возникает за счет вакуумных флуктуаций[2].

Можно принять такую точку зрения, что $g_{\mu\nu}$ в классическом пустом пространстве тождественно исчезают и только благодаря квантовым свойствам физического вакуума возникают $G_{\mu\nu}$ и квадратичная форма–геометрия. В этой интерпретации инерционные силы, возникающие при вращении, вызываются не гравитационным действием отдаленных звезд, а усредненным гравитационным действием вакуумных флуктуаций. *Рассматриваемые эффекты являются эффектами вращения в постоянном "гравитационном потенциале", характерном для физического вакуума.*

Такая точка зрения, возможно, не обязательно связана с существованием энергии нулевых колебаний вакуума, отличной от нуля: постоянные значения $g_{\mu\nu}$ не дают энергетического вклада.

Все сказанное выше отнюдь не является каким-либо доказательством. В этих словах предложено толкование причин неинвариантности физического вакуума относительно вращений. Я не знаю, может ли существовать какой-то путь строгого доказательства такого толкования, если окажется, что энергия нулевого состояния вакуума действительно зануляется.

---

[1] Такого рода поправки в современной теории даются расходящимися интегралами.

[2] Преобразованием (калибровкой) константы $G_{\mu\nu}$ можно превратить в единицу.

Однако известная привлекательность такого понимания проблем инерции, гравитации и принципа Маха заключается в том, что хотя формально она ничего не меняет в ньютоновской картине данных эффектов, тем не менее все-таки лежит в круге идей о взаимоотношении пространства–времени и материи, возникшем в связи с общей теорией относительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зельдович Я.Б.* // Успехи физ. наук. 1968. Т. 95. С. 209.
2. *Сахаров А.Д.* // Докл. АН СССР. 1967. Т. 177. С. 70.

МЕТРИКА ЗАКРЫТОГО МИРА ФРИДМАНА, ВОЗМУЩЕННАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЗАРЯДОМ (к теории электромагнитных "фридмонов")*

1. ОБОБЩЕНИЕ РЕШЕНИЯ ТОЛМЕНА НА СЛУЧАЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ ЗАРЯЖЕННОЙ ПЫЛЕВИДНОЙ МАТЕРИИ

Решение уравнений Эйнштейна для случая центрально-симметричного гравитационного поля в сопутствующей системе координат для пылевидной материи (давление $p = 0$) было найдено Р. Толменом [2].

Для ряда задач представляет интерес обобщение решения Толмена на случай электрически заряженной пылевидной материи. Как известно, закрытый мир Фридмана описывается частными решениями задачи Толмена. Известно также, что для заряженной материи метрика мира не может быть закрытой даже в том случае, если плотность материи превышает критическую плотность.

Возникает вопрос, как деформируется метрика закрытого мира Фридмана под влиянием, допустим, слабого возмущения ее присутствием электрического заряда. Ответ на поставленный вопрос должно дать совместное решение системы уравнений Эйнштейна–Максвелла

$$G_i^k \equiv R_i^k - \frac{1}{2}\delta_i^k R = \frac{8\pi\varkappa}{c^4}(T_i^k + E_i^k), \quad (1)$$

$$F^{ik}_{\ ,k} = \frac{1}{\sqrt{-g}}\frac{\partial}{\partial x^k}(\sqrt{-g}F^{ik}) = -\frac{4\pi}{c}j^i, \quad (2)$$

$$\frac{\partial F_{ik}}{\partial x^l} + \frac{\partial F_{kl}}{\partial x^i} + \frac{\partial F_{li}}{\partial x^k} = 0. \quad (3)$$

* Теорет. и мат. физика. 1970. Т. 3, № 1. С. 3–16. Соавтор *В.П. Фролов*.

Тензор энергии в правой части (1) выберем в виде

$$T_i^k + E_i^k = \begin{pmatrix} \varepsilon + \Lambda/8\pi & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Lambda/8\pi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\Lambda/8\pi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\Lambda/8\pi \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где

$$\Lambda = e^2/r^4 = -F_{01}F^{01} \quad (5)$$

возникает в результате решения уравнения Максвелла при условии сферической симметрии системы. Здесь

$$T_i^k = \delta_0^k \delta_i^0 \varepsilon \quad (6)$$

– тензор материи в сопутствующей системе координат ($x^1 = q$).

В развернутой форме уравнение (1) имеет вид

$$-\frac{8\pi\varkappa}{c^4}(T_1^1 + E_1^1) = \frac{1}{2}e^{-\lambda}\left(\frac{\mu'^2}{2} + \mu'\nu'\right) - e^{-\nu}\left(\ddot{\mu} - \frac{1}{2}\dot{\mu}\dot{\nu} + \frac{3}{4}\dot{\mu}^2\right) - e^{-\mu} = -\frac{\varkappa}{c^4}\Lambda \equiv -\tilde{\Lambda}, \quad (I)$$

$$-\frac{8\pi\varkappa}{c^4}(T_2^2 + E_2^2) = \frac{1}{4}e^{-\lambda}(2\nu'' + \nu'^2 + 2\mu'' + \mu'^2 - \mu'\lambda' - \nu'\lambda' + \mu'\nu') +$$

$$+\frac{1}{4}e^{-\nu}(\dot{\lambda}\dot{\nu} + \dot{\mu}\dot{\nu} - \dot{\lambda}\dot{\mu} - 2\ddot{\lambda} - \dot{\lambda}^2 - 2\ddot{\mu} - \dot{\mu}^2) = \frac{\varkappa}{c^4}\Lambda \equiv \tilde{\Lambda}, \quad (II)$$

$$\frac{8\pi\varkappa}{c^4}(T_0^0 + E_0^0) = -e^{-\lambda}\left(\mu'' + \frac{3}{4}\mu'^2 - \frac{\mu'\lambda'}{2}\right) + \frac{1}{2}e^{-\nu}\left(\dot{\lambda}\dot{\mu} + \frac{\dot{\mu}^2}{2}\right) + e^{-\mu} =$$

$$= \frac{8\pi\varkappa}{c^4}\varepsilon + \frac{\varkappa}{c^4}\Lambda \equiv \tilde{\varepsilon} + \tilde{\Lambda}, \quad (III)$$

$$\frac{8\pi\varkappa}{c^4}(T_0^1 + E_0^1) = \frac{1}{2}e^{-\lambda}(2\dot{\mu}' + \dot{\mu}\mu' - \dot{\lambda}\mu' - \nu'\dot{\mu}) = 0. \quad (IV)$$

Здесь метрика выбрана в виде

$$ds^2 = e^{\nu}dx^{0^2} - e^{\lambda}dx^{1^2} - e^{\mu}d\sigma^2, \quad (7)$$

где $d\sigma^2 \equiv dx^{2^2} + \sin^2 x^2 dx^{3^2}$. Точкой обозначается дифференцирование по x^0, штрихом – дифференцирование по q.

Пользуясь законами сохранения, легко получить [2]

$$\dot{\tilde{\varepsilon}} = -\tilde{\varepsilon}\left(\frac{\dot{\lambda}}{2} + \dot{\mu}\right), \quad (V)$$

$$2\frac{e'}{e}\tilde{\Lambda} = \frac{1}{2}\nu'\tilde{\varepsilon}. \tag{VI}$$

В нашем случае сопутствующая система не является синхронной ($\nu \neq 0$).

Из (V) интегрированием по x^0 получается соотношение

$$\tilde{\varepsilon} = 2\frac{\varkappa}{c^4}\frac{C(q)}{r^2}e^{-\lambda/2}, \tag{8}$$

где $r^2 \equiv e^\mu$. Уравнение (VI) дает

$$\nu' = \frac{2ee'}{r^2 C(q)}e^{\lambda/2}, \tag{9}$$

уравнение (IV) можно переписать в виде

$$2(\ln r')^{\cdot} - \dot{\lambda} - \nu'\dot{r}/r' = 0. \tag{10}$$

Интегрируя уравнение (10) по x^0, получаем

$$\ln(r')^2 = \lambda + \int\frac{\nu'\dot{r}}{r'}dx^0 + \ln(1+\tilde{f}), \tag{11}$$

где $\tilde{f} = \tilde{f}(q),\ 1+\tilde{f} \geqslant 0$.

Обозначая через φ выражение

$$\varphi = \int\frac{\nu'\dot{r}}{r'}dx^0 = \frac{2ee'}{C(q)}\int\frac{e^{\lambda/2}\dot{r}}{r'r^2}dx^0, \tag{12}$$

перепишем соотношение (11) в виде

$$e^\lambda = \frac{r'^2}{1+\tilde{f}}e^{-\varphi}. \tag{13}$$

Выражение для φ можно получить следующим образом: используя (13), перепишем соотношение (12) в виде интегрального уравнения для φ:

$$\varphi = \frac{2ee'}{C(q)\sqrt{1+\tilde{f}}}\int\frac{e^{-\varphi/2}\dot{r}}{r^2}dx^0, \tag{14}$$

откуда для φ получается дифференциальное уравнение

$$\dot{\varphi} = \tilde{\delta}(q)e^{-\varphi/2}\dot{r}/r^2, \tag{15}$$

где

$$\tilde{\delta}(q) \equiv 2ee'/C(q)\sqrt{1+\tilde{f}}, \tag{16}$$

а отсюда

$$2e^{\varphi/2} = -\tilde{\delta}/r + 2\psi(q). \tag{17}$$

Подставляя (17) в (13), получаем

$$e^{\lambda} = \frac{r'^2}{(\sqrt{1+\tilde{f}}\psi - ee'/C(q)r)^2} \tag{18}$$

или, обозначая

$$\sqrt{1+\tilde{f}}\psi \equiv \sqrt{1+f}, \tag{19}$$

$$\delta(q) \equiv \frac{2ee'}{\sqrt{1+f}\,C(q)}, \tag{20}$$

окончательно имеем

$$e^{\lambda} = \frac{r'^2}{1+f}\frac{1}{(1-\delta/2r)^2}. \tag{21}$$

Уравнение (1) можно переписать следующим образом:

$$e^{-\lambda}(r'^2 + r'r\nu') - e^{-\nu}(2\ddot{r}r + \dot{r}^2 - \dot{r}r\dot{\nu}) - 1 = -\frac{\varkappa e^2}{c^4 r^2}. \tag{22}$$

Легко проверить, что

$$e^{-\lambda}(r'^2 + r'r\nu') = (1+f)(1-\delta^2/4r^2),$$

$$e^{-\nu}(2\ddot{r}r + \dot{r}^2 - \dot{r}r\dot{\nu}) = \frac{1}{\dot{r}}(e^{-\nu}\dot{r}^2 r)^{\cdot}.$$

Интегрируя (22) по x^0, получаем

$$e^{-\nu}\dot{r}^2 = f + \frac{2m(q)}{r} - \frac{1}{r^2}\left(\frac{\varkappa}{c^4}e^2 - \frac{\delta^2(1+f)}{4}\right), \tag{23}$$

где $m(q)$ – постоянная интегрирования по x^0.

Уравнение (III) перепишем в виде

$$-e^{-\lambda}(2r''r + r'^2 - r'r\lambda') + e^{-\nu}(\dot{\lambda}\dot{r}r + r^2) + 1 = (\tilde{\Lambda} + \tilde{\varepsilon})r^2. \tag{24}$$

Убеждаясь, что

$$e^{-\lambda}(2r''r + r'^2 - r'r\lambda') \equiv \frac{(e^{-\lambda}r'^2 r)'}{r'},$$

$$e^{-\nu}(\dot{\lambda}\dot{r}r + r^2) = \frac{(e^{-\nu}r^2 r)'}{r'},$$

подставляя в полученные выражения (21) и (23) и обозначая

$$m_1(q) \equiv \frac{c^2}{\varkappa}\left[m(q) + \frac{\delta(1+f)}{2}\right], \tag{25}$$

получаем соотношение

$$m_1'(q) = \frac{1}{c^2} C(q)\sqrt{1+f}. \qquad (26)$$

Уравнение (II) не дает новых соотношений – оно является следствием других использованных нами уравнений.

В найденные нами первые интегралы уравнений (I) и (III) входят три неизвестные функции

$$f(q),\ m(q),\ e(q). \qquad (27)$$

Этими функциями конкретизируется задача – они должны задаваться начальными условиями. Выберем в качестве пространственно-подобной гиперповерхности Σ для заданий начальных условий поверхность $x^0 = 0$.

С условием (IV) $G_0^1 = 0$ совместно соотношение

$$e^{\lambda(0,q)} = \frac{r'^2(0,q)}{1+f(q)} \frac{1}{(1-\delta(q)/2r(0,q))^2}. \qquad (28)$$

Уравнение (III) на поверхности Σ можно записать в виде

$$(e^{-\nu}\dot{r}r)' - (e^{-\nu}r'^2 r)' + r' = \frac{2\varkappa}{c^4} C(q)e^{-\lambda/2}r' + \frac{\varkappa e^2}{c^4 r^2} r'. \qquad (29)$$

Выберем в качестве q каноническую координату – расстояние от центра в начальный момент времени ($\exp \lambda(0, q) = 1$), тогда соотношение (28) становится определением $f(q)$:

$$\sqrt{1+f} = r'(0,q) + \frac{ee'}{C(q)r(0,q)}. \qquad (30)$$

В дальнейшем мы специализируем нашу задачу главным образом на тот случай, когда при стремлении электрического заряда рассматриваемой системы к нулю возникает замкнутый мир Фридмана.

2. МИР ФРИДМАНА, ДЕФОРМИРУЕМЫЙ ПРИСУТСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

Внутреннее решение

В дальнейшем будем стремиться задать таким образом неизвестные функции $f(q)$, $m(q)$ и $e(q)$, чтобы при $e(q) \to 0$ получить метрику замкнутого мира Фридмана. Так как в замкнутом мире полный электрический заряд равен нулю, то ясно a priori, что метрика рассматриваемого мира даже при малом электрическом заряде должна быть не вполне замкнутой и что деформированная зарядом фридмановская метрика должна иметь вне вещества нордстрем-рейсснеровское продолжение. Наша

задача – найти хотя бы частные примеры, для которых удается непрерывным образом описать все пространство такого мира. Таким образом, мы ожидаем, что внутреннее решение, близкое к решению Фридмана для замкнутого мира, через горловину должно переходить в известное внешнее решение Нордстрема–Рейсснера. Поэтому для внутреннего решения мы попытаемся сформулировать начальные условия к $x^0 = 0$ – моменту максимального расширения системы, наиболее близкие к фридмановским. Именно, пусть

1) при $x^0 = 0$ все пространство принадлежит R-области [6];

2) начальные скорости всех частиц равны нулю;

3) плотность энергии в начальный момент не зависит от q:

$$T_0^0 + E_0^0 = \varepsilon_0 = \text{const}.$$

Ниже мы покажем, что задача с такими условиями в случае электрически заряженной пыли имеет решение, т.е. существует такая функция $C(q)$ или $M(q)$, которая совместима с данными условиями.

Для данных начальных условий уравнение (29) перепишется в виде

$$1 - \frac{(r'^2 r)'}{r'} = \frac{\varkappa}{c^4} 8\pi\varepsilon_0 r^2. \qquad (31)$$

Обозначим

$$\frac{8\pi\varkappa\varepsilon_0}{c^4} \equiv \frac{3}{4a_0^2} \qquad (32)$$

и проинтегрируем уравнение (31), тогда

$$1 - \frac{r^2}{4a_0^2} = r'^2 \qquad (33)$$

или, так как $r = (q = 0) = 0$,

$$r = 2a_0 \sin q/2a_0, \qquad (34)$$

то выражение (29) теперь можно переписать в виде

$$2\frac{\varkappa}{c^4} C(q) + \frac{\varkappa}{c^4}\frac{e^2}{r^2} = 3\sin^2 \frac{q}{2a_0}. \qquad (35)$$

Зададим далее распределение заряда. Пусть все пылинки системы имеют одно и то же отношение заряда к массе, равное β. Обозначим

$$\frac{1}{c^2}\int_0^q C(q)dq = M(q), \qquad (36)$$

тогда новое условие запишется в виде

$$e(q) = \beta M(q). \qquad (37)$$

Теперь равенство (35) принимает вид уравнения для нахождения $M(q)$:

$$2\overline{M}'(q)+\overline{\beta}^2\frac{\overline{M}^2(q)}{r^2}=3\sin^2\frac{q}{2a_0}, \tag{38}$$

где

$$\overline{M}=\frac{\varkappa}{c^2}M;\quad \overline{\beta}=\frac{\beta}{\sqrt{\varkappa}}. \tag{39}$$

Можно проверить подстановкой, что следующее выражение удовлетворяет уравнению (38):

$$\overline{M}=\frac{4a_0}{\overline{\beta}^2}\sin\chi(b\operatorname{ctg}b\chi\sin\chi-\cos\chi),$$

где

$$\chi=\frac{q}{2a_0},\quad b=\sqrt{1-\frac{3}{4}\overline{\beta}^2}.$$

Легко проверить, что $\overline{M}$ при $\beta\to 0$ переходит в

$$\overline{M}_0(q)=\frac{3}{2}a_0\left(\chi-\frac{\sin 2\chi}{2}\right), \tag{40}$$

т.е. в выражение для "внутренней" массы [1] в незаряженном фридмановском мире[1]. Далее, используя (9), можно получить

$$e^{\nu(0,q)}=\left(\frac{\sin b\chi}{b\sin\chi}\right)^4. \tag{41}$$

Этими замечаниями заканчивается рассмотрение внутреннего решения в начальный момент времени – в момент наибольшего расширения материальной системы. В следующих пунктах анализируется решение в пустоте (в областях, где $\tilde{\varepsilon}=0$) и задача сшивания внешнего и внутреннего решений.

Внешнее нордстрем-рейсснеровское решение

Как известно, геометрия пространства вне сферически-симметричной распределенной массы m_0 с электрическим зарядом e_0 описывается метрикой Нордстрема–Рейсснера

$$ds^2=\Phi(r)dt^2-dr^2/\Phi(r)-r^2d\sigma^2, \tag{42}$$

[1] Полная масса, учитывающая гравитационный дефект массы в замкнутом мире, равна нулю [2].

где

$$\Phi(r)=1-\frac{2\varkappa m_0}{c^2 r}+\frac{\varkappa e_0^2}{c^4 r^2}. \qquad (43)$$

В рассматриваемой задаче следует различать три случая:

$$\begin{aligned}&1)\ \sqrt{\varkappa}m_0>e_0,\\ &2)\ \sqrt{\varkappa}m_0=e_0,\\ &3)\ \sqrt{\varkappa}m_0<e_0.\end{aligned} \qquad (44)$$

В первом случае метрика характеризуется двумя псевдоособенностями типа псевдоособенности Шварцшильда: $\Phi(r_1)=\Phi(r_2)=0$. При $r_2<r<r_1$ координата r имеет временеподобный характер. В координатах типа координат Крускала можно описать полное пространство–время для этого случая [8]. Пробная частица, помещенная в $r=r_1$ при $x^0=0$, за время $T=\pi\varkappa m_0/c^3$ достигает $r=r_2$, останавливается и возвращается к r_1.

В начальный момент (момент временно́й симметрии) геометрия пространства имеет вид "кротовой норы" ("мосты Эйнштейна–Розена"). Горловина ее пульсирует с периодом $2T$ и никогда не закрывается (в отличие от случая Шварцшильда). Полному закрыванию горловины препятствуют электрические силовые линии, идущие через горловину[2] в евклидову бесконечность.

Второй случай отличается от первого тем, что T-область отсутствует. В точке

$$r=\frac{\varkappa m_0}{c^2}=\frac{e_0\sqrt{\varkappa}}{c^2}$$

имеем нуль второго порядка:

$$\Phi(r)=(1-r_h/r)^2,\quad \text{где}\quad r_h=\varkappa m_0/c^2=\sqrt{\varkappa}e_0/c^2. \qquad (45)$$

Как следует из дальнейшего анализа, в этом случае геометрия в момент временно́й симметрии может быть двух видов:

α^0 – типа "кротовой норы",

β^0 – геометрия с монотонным изменением r, в частности реализуемая в модели Папапетру (статическая модель заряженной пыли $\bar{\beta}=e\sqrt{\varkappa}M=1$). Если речь идет о полузамкнутом заряженном мире, то внешнее решение, удовлетворяющее условию евклидовости на бесконечности, будет типа (α^0).

Третий случай ($e_0>\sqrt{\varkappa}m_0$) переходит в случай β^0 при уменьшении e_0. Особенности здесь отсутствуют, все пространство R-типа. В этом случае полузамкнутые

---

[2] При $e\to 0$, $\Phi(r)=1-\dfrac{2\varkappa m_0}{c^2 r}$ – шварцшильдовское решение можно истолковать как внешнее решение для полузамкнутого мира [1, 5]. В работе [5] метрика Крускала получает свое физическое истолкование.

миры (с условием евклидовости на бесконечности) не реализуются. Предел $\bar{\beta} = 1$ в этом случае дает всюду статическую систему (модель Папапетру).

Нас интересует задача – сшить внешнее нордстрем-рейсснеровское решение с внутренним решением, описывающим почти замкнутый мир, т.е. мир, метрика которого при $e_0 \to 0$ переходила бы в метрику замкнутого мира Фридмана. При $e_0 \neq \neq 0$ наша задача – максимально продолжить внутреннее фридмановское решение (уменьшить размеры горловины), насколько это разрешает присутствие электрического поля. С этой точки зрения целесообразно рассмотреть деформирование фридмановской метрики слабым электрическим зарядом $\bar{\beta} \ll 1$.

Из всех рассмотренных случаев нашим условиям удовлетворяет лишь второй случай ($\alpha^0 = 1$). Все остальные случаи не приводят к замкнутому миру при $e_0 \to 0$.

Сшивание внутреннего и внешнего решений

Для удобства использования граничных условий сшивания преобразуем формулу (7) к виду, близкому (42), именно к

$$ds^2 = \beta dt^2 - \alpha dr^2 - r^2 d\sigma^2, \tag{46}$$

где в качествс x^1 (или q-координаты) выбрана координата, квадрат которой стоит коэффициентом у $d\sigma^2$. Преобразование

$$dr = \dot{r}dx^0 + r'dx^1, \quad dx^1 = \frac{dr - \dot{r}dx^0}{r'}$$

преобразует первые два члена формулы (7) к виду

$$e^{\nu}dx^{0^2} - e^{\lambda}dx^{1^2} =$$
$$= \left(\sqrt{e^{\nu} - e^{\lambda}\dot{r}^2 / r'^2}\, dx^0 + \frac{\dot{r}e^{\lambda}}{r'^2\sqrt{e^{\nu} - e^{\lambda}\dot{r}^2 / r'^2}} dr \right)^2 - \frac{dr^2}{r'^2 e^{-\lambda} - \dot{r}^2 e^{-\nu}}. \tag{47}$$

Выражение в скобке может быть преобразовано с помощью интегрирующего множителя $\tilde{\mu}(t,r)$ к виду

$$\left(e^{\nu} - e^{\lambda}\frac{\dot{r}^2}{r'^2} \right)^{1/2} dx^0 + \frac{\dot{r}}{r'^2} e^{\lambda} \left(e^{\nu} - e^{\lambda}\frac{\dot{r}^2}{r'^2} \right)^{-1/2} dr = \frac{1}{\tilde{\mu}(t,r)} dt,$$

содержащему в правой части полный дифференциал. Для дальнейшего существенно полученное выражение для α:

$$\alpha = \frac{1}{r'^2 e^{-\lambda} - \dot{r}^2 e^{-\nu}}. \tag{48}$$

Из условий сшивания внутреннего и внешнего решений на поверхности раздела Σ:

$$\alpha^{\text{in}} = \alpha^{\text{out}}\Big|_\Sigma, \quad r^{\text{in}} = r^{\text{out}}\Big|_\Sigma \tag{49}$$

получаем

$$r'^2 e^{-\lambda} - \dot{r}^2 e^{-\nu}\Big|_{q=q_0} = 1 - \frac{2\varkappa m_0}{c^2 r} + \frac{\varkappa e_0^2}{c^4 r^2}. \tag{50}$$

Используя (21), (22) и (25), находим

$$\begin{aligned} &m_1(q_0) = m_0, \\ &e(q_0) = e_0. \end{aligned} \tag{51}$$

Пока мы не получили ответа на основной вопрос – при каком q_0 мы вынуждены сшивать внутреннее и внешнее решения, если мы хотим продолжить фридмановский мир до максимально возможной его замкнутости с минимальным размером горловины в момент временно́й симметрии. В третьем случае сшивание полузамкнутого мира с плоским на бесконечности пространства невозможно. Следовательно, на границе $\sqrt{\varkappa}m_1(q_0) \geqslant e(q_0)$, и искомое q_0 находится из уравнения

$$\sqrt{\varkappa}m_1(q_0) = e(q_0). \tag{52}$$

Условие (52) может быть записано в виде[3]

$$r_0'^2 = (1 - r_h / r_0)^2, \tag{53}$$

где $r_h = \sqrt{\varkappa}e_0 / c^2 = \varkappa m_0 / c^2$, а r_0 и r_0' – значения r и r' на границе вещества. Условие (53) для полузамкнутого мира ($r' < 0$) в случае плоского на бесконечности пространства приводит к соотношению $r_h < r_0$, что соответствует наличию "кротовой норы", т.е. второму случаю (α^0). Таким образом, для полузамкнутого мира с плоским на бесконечности пространством условие (53) можно переписать в виде

$$r_0' = \frac{r_h}{r_0} - 1. \tag{54}$$

[3] Уравнение (31) в этом случае переписывается в виде $[(1 - r'^2)r]' = \frac{\varkappa}{c^4}\frac{e_0^2}{r^2}r'$, откуда $r'^2 = 1 - \frac{2\varkappa m_0}{c^2 r} + \frac{\varkappa e_0^2}{c^4 r^2}$. В силу непрерывности r и r' на границе вещество–вакуум в этой области r справедливо (52).

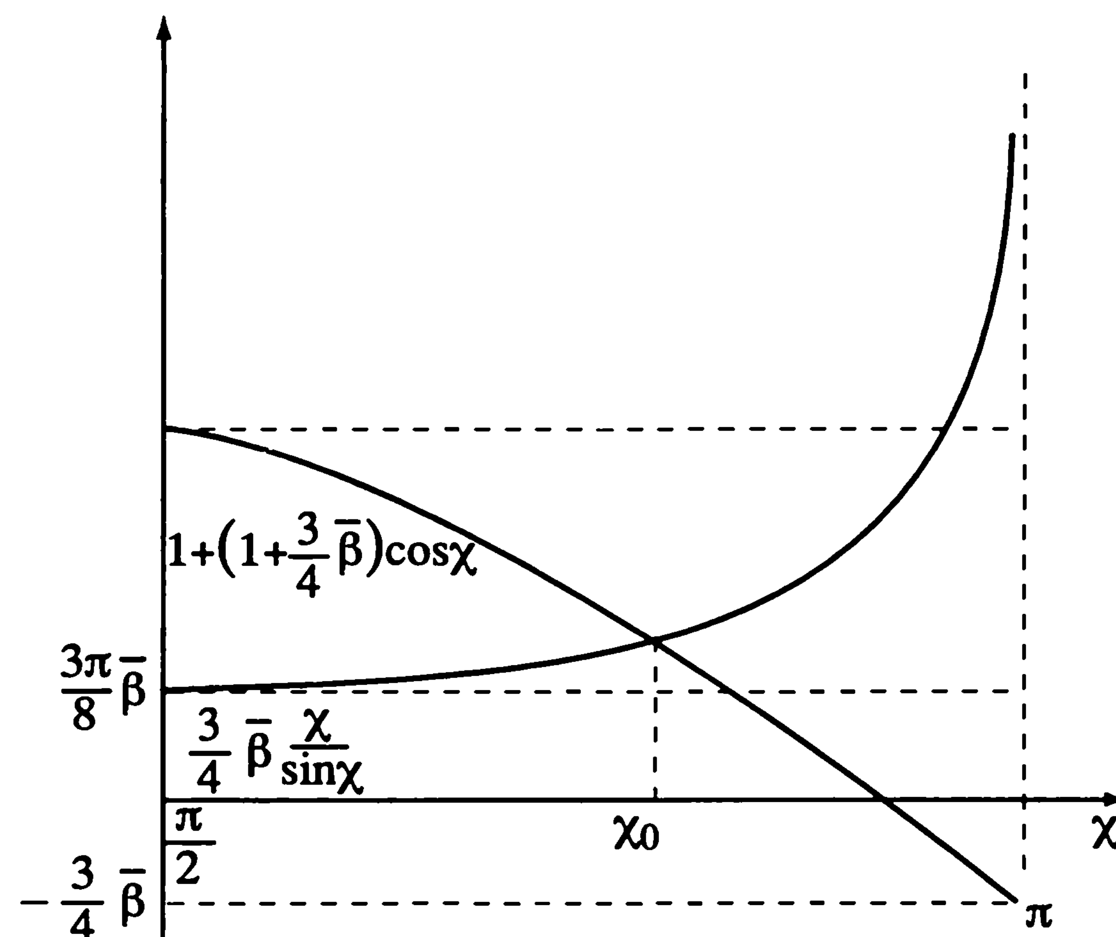


Рис. 1

Исследуем более подробно модель слабо заряженного мира $\bar\beta \ll 1$ (или $\pi\bar\beta \ll 1$). В этом случае

$$\begin{aligned}
\overline{M} &= \frac{3}{2}a_0(\chi_0 - \sin\chi_0\cos\chi_0) + O(\bar\beta^2),\\
r_h &= \frac{3}{2}\bar\beta a_0(\chi_0 - \sin\chi_0\cos\chi_0) + O(\bar\beta^3),\\
r_0 &= 2a_0\sin\chi_0, \quad r_0' = \cos\chi_0,
\end{aligned} \tag{55}$$

где $0 < \chi_0 < \pi$, $\chi_0 = q_0/2a_0$.

Условие (54) для $\pi/2 < \chi_0 < \pi$ и малых $\bar\beta$ запишется в виде

$$1 + \left(1 + \frac{3}{4}\bar\beta\right)\cos\chi_0 = \frac{3}{4}\bar\beta\frac{\chi_0}{\sin\chi_0}. \tag{56}$$

При $\bar\beta = 0$ $\chi_0 = \pi$, т.е. χ_0 достигает своего максимального значения – мир становится полностью замкнутым фридмановским миром.

При слабом заряде $\bar\beta$ ($\bar\beta \ll 1$) искомая граница внутреннего (фридмановского) решения должна быть где-то вблизи π, т.е. $\chi_0 = \pi - \delta$, где δ мало. Действительно, как следует из графика (рис. 1), уравнение (56) имеет одно решение χ_0. При $\bar\beta \ll 1$ χ_0 близко к π, при $\bar\beta \to 1$ χ_0 стремится к $\pi/2$.

При увеличении заряда мира e_0 растет, и его внешняя (шварцшильдовская) масса и соответственно радиус горловины

$$r_h = \sqrt{\varkappa}e_0 / c^2. \tag{57}$$

Существенно подчеркнуть, что при этом потенциал электрического поля в горловине

$$\varphi_h = e_0/r_h \tag{58}$$

с ростом заряда e_0 не меняется, а остается равным постоянному значению

$$\varphi_h = c^2 / \sqrt{\varkappa}. \tag{59}$$

Величина φ_h играет в теории роль максимального потенциала; она составляется из мировых констант и, что интересно, не содержит электрического заряда.

Горловина

Условие $\sqrt{\varkappa} m_0 = e_0$ обеспечивает статичность горловины. Внешний наблюдатель всегда видит заряженный предельно продолженный полузамкнутый мир в виде застывшей заряженной сферы[4].

Динамика части почти замкнутого равномерно заряженного мира и в данном случае остается нестационарной. После момента максимального расширения зарядовое облако, описываемое внутренним решением, сжимается. Но коллапс системы останавливается электрическими силами на предельно малом радиусе, определяемом размерами горловины, т.е. полным электрическим зарядом системы.

Следует подчеркнуть, что в горловине нет вещества. Нестатичность материального облака не отражается на статичности горловины. В горловине пучок электрических силовых линий сжат максимально допустимым образом ($\varphi_h = c^2 / \sqrt{\varkappa}$). Из горловины пучок силовых линий расходится как вовне, в сторону евклидовой бесконечности, так и внутрь почти фридмановского мира. Таким образом, горловина имитирует источник электрического поля (заряды), хотя никакие материальные носители заряда в горловине не локализованы.

Более детальное рассмотрение показывает, что поле во внешнем пространстве и поле между веществом и горловиной имеют разные знаки (рис. 2):

$F_{tr} = e/r^2$ (во внешнем пространстве область *1*), (60)

$F_{tr} = -e/r^2$ (между веществом и горловиной, область 0).

Действительно, связь между $F_{x^0 q}$ и F_{tr} дается преобразованием

$$F_{tr} = \frac{D(t,r)}{D(x^0,q)} F_{x^0 q}. \tag{61}$$

[4] Напомним: в случае $\sqrt{\varkappa} m_0 > e_0$ горловина осциллирует между r_1 и r_2. При $e_0 \to \sqrt{\varkappa} m_0$ $r_1 \to r_2$. В случае $\sqrt{\varkappa} m_0 = e_0$ при $e_0 \to 0$ внешняя (шварцшильдовская) масса исчезает. Мир становится полностью замкнутым, т.е. в случае $\sqrt{\varkappa} m_0 = e_0$ вся масса электрического происхождения. В этих условиях любое начальное значение внутренней массы неэлектромагнитного происхождения погашается полностью гравитационным дефектом масс.

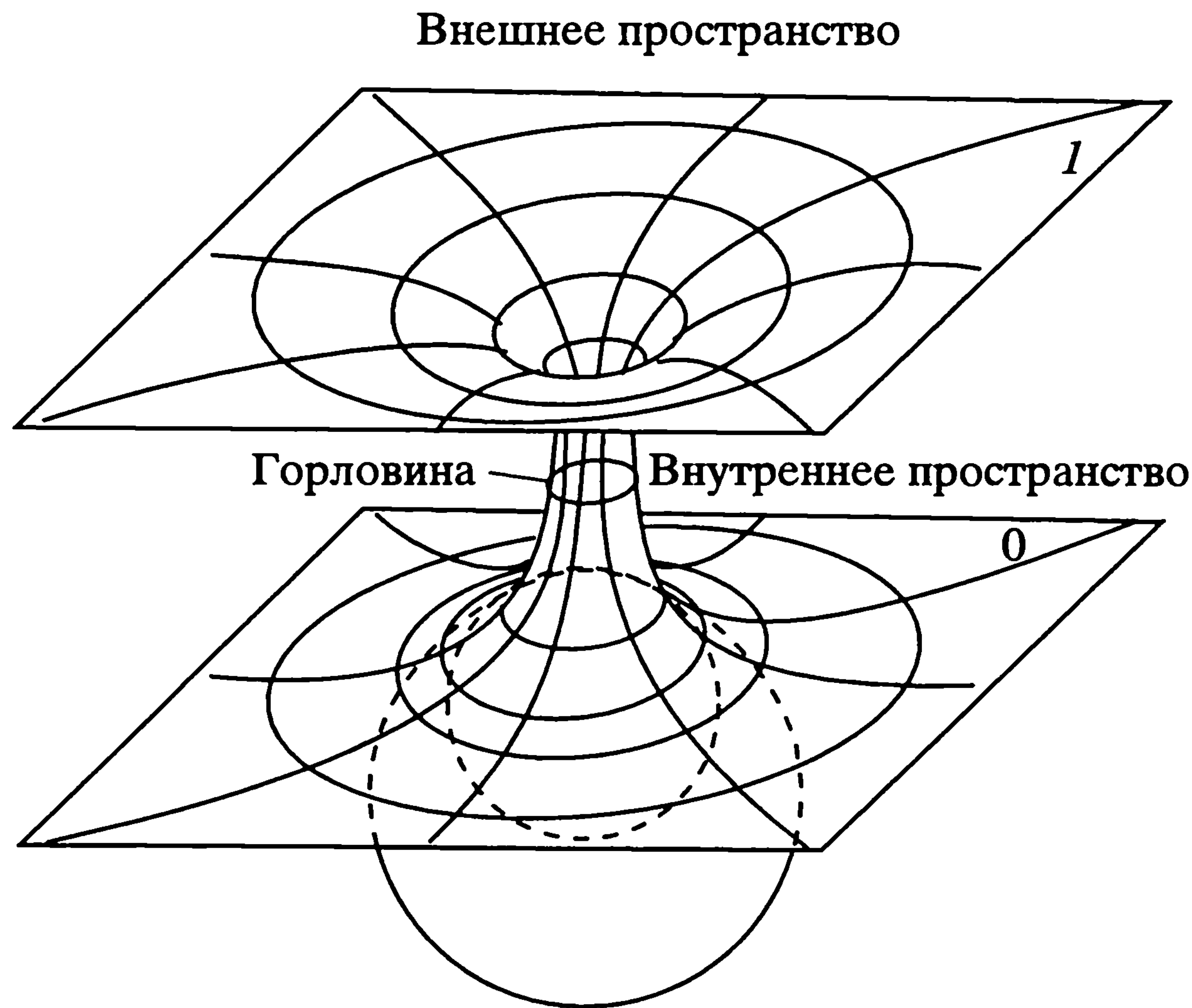


Рис. 2

Можно далее показать[5], что

$$\operatorname{sign}\frac{D(t,r)}{D(x^0,q)}=\operatorname{sign}r', \tag{62}$$

т.е. знак $D(t, r)/D(x^0, q)$ совпадает со знаком r', отсюда следует (60).

В самой горловине пробный электрический заряд должен покоиться. В областях *1* и 0 легко реализовать статическую систему отсчета, пользуясь соответственно заряженными невесомыми пылинками. Эта система совпадает с системой Рейсснера–Нордстрема. Как известно, полное описание метрики Рейсснера–Нордстрема (т.е. в том числе и в области между ее двумя псевдоособенностями) дается координатами типа Крускала (нестатическая система отсчета).

В нашем случае область (r_1, r_2) стягивается к одному значению $r_1 = r_2 = r_h$ – горловине. Статическая система отсчета не покрывает только этого участка непосредственно вблизи горловины.

---

[5] $g_{x^0x^0}=\left(\dfrac{\partial t}{\partial x^0}\right)^2 g_{tt}+\left(\dfrac{\partial r}{\partial x^0}\right)^2 g_{rr}$, $g_{qq}=\left(\dfrac{\partial t}{\partial q}\right)^2 g_{tt}+\left(\dfrac{\partial r}{\partial q}\right)^2 g_{rr}$,

но $g_{x^0x^0}>0$, $g_{qq}<0$, $g_{tt}>0$, $g_{rr}<0$. Следовательно, $\left(\dfrac{\partial t}{\partial x^0}\right)^2 g_{tt}>\left(\dfrac{\partial r}{\partial x^0}\right)^2(-g_{rr})$ и $\left(\dfrac{\partial r}{\partial q}\right)^2(-g_{rr})>$ $>\left(\dfrac{\partial t}{\partial q}\right)^2 g_{tt}$, откуда $\left|\dfrac{\partial t}{\partial x^0}\dfrac{\partial r}{\partial q}\right|>\left|\dfrac{\partial r}{\partial x^0}\dfrac{\partial t}{\partial q}\right|$ и, следовательно, знак $\dfrac{D(t,r)}{D(x^0,q)}=\dfrac{\partial t}{\partial x^0}\dfrac{\partial r}{\partial q}-\dfrac{\partial t}{\partial q}\dfrac{\partial r}{\partial x^0}$ определяется первым членом; так как всегда $\dfrac{\partial t}{\partial x^0}>0$ – время всегда возрастает ("arrow of time").

Заполяризовывание горловины
(необходимость квантового описания горловины)

На основании соотношения (57) ($r_h = \sqrt{\varkappa}e_0 / c^2$) мы приходим к выводу, что радиус горловины растет пропорционально полному электрическому заряду. Так выглядит описание горловины с точки зрения классической теории. Но с точки зрения квантовой физики такое состояние горловины не может быть стабильным. Действительно, если в какой-то начальный момент возникла горловина с описанными выше свойствами, то в ее сверхсильном электрическом поле неизбежно начинает происходить бурный процесс рождения всякого рода электрически заряженных пар, пар протон–антипротонов, всякого рода мезонных пар, наконец, пар электрон–позитронов. Противоположные заряды будут стремиться уменьшить эффективный заряд горловины, а заряды другой компоненты пар будут стекаться в евклидову бесконечность. В этом процессе заряд горловины постепенно уменьшается, вместе с ним уменьшается радиус горловины, и внутренняя метрика системы становится все более и более закрытой. Задержимся несколько на обсуждении этого эффекта, может быть, не столько для того, чтобы дать исчерпывающее количественное описание рождения пар в таком поле, а скорее для того, чтобы несколько более фиксировать внимание на этой, с нашей точки зрения, очень любопытной ситуации – необходимости применения в ультрамакромире квантовой теории, именно для описания таких процессов, которые, казалось бы, играют существенную роль только в микромире. Хотя количественные оценки пока далеки от желаемого, они сами по себе не лишены некоторого интереса.

Рождение пар электрически заряженных частиц в сильном однородном электрическом поле было рассмотрено Никишовым [4][6].

Если имеется однородное электростатическое поле напряженностью **E**, заполняющее пространство куба размерами L^3, то вероятность образования в нем пары (скажем, электронов) с данным импульсом (**p**) и спином (r) за все время дается выражением

$$W_{\mathbf{p}r} = \exp(-\pi\lambda), \quad \lambda = \frac{c^2(p_1^2 + p_2^2 + m_0^2c^2)}{eE\hbar c} \quad (\mathbf{E} = (0, 0, E)), \tag{63}$$

где m_0 – масса частицы пары, **p** – значение импульса частицы рожденной пары после выключения поля. В такой задаче **p** должно принадлежать дискретному спектру, т.е. $Lp_n^{(i)} = 2\pi\hbar n$.

Формулу (63) можно переписать в виде

$$W_{n_1 n_2 n_3 r} = \exp\left(-\frac{\pi m_0^2 c^4}{eE\hbar c}\right)\exp\left[-\frac{\pi c^2}{eE\hbar c}\left(\frac{2n\hbar}{L}\right)^2 n_1^2\right]\times$$
$$\times\exp\left[-\frac{\pi c^2}{eE\hbar c}\left(\frac{2\pi\hbar}{L}\right)^2 n_2^2\right]. \tag{64}$$

---

[6] Авторы выражают благодарность А.И. Никишову за сообщение своих результатов.

Здесь состояние рожденной частицы характеризуется числами $(n_1 n_2 n_3 r)$. Суммируя $W_{n_1 n_2 n_3 r}$ по всем квантовым числам, а далее заменяя сумму по n интегралом, получаем

$$W = 4N \exp\left(-\frac{\pi m_0^2 c^4}{eE\hbar c}\right) eE\hbar c \left(\frac{L}{2\pi\hbar c}\right)^2 \Phi^2(\xi_0), \tag{65}$$

где

$$\xi_0 = \sqrt{\frac{\pi}{eE\hbar c}} \frac{2\pi\hbar c}{L} N, \quad \Phi(\xi_0) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\xi_0} e^{-\xi^e} d\xi,$$
$$N = n_{\max}; \quad p_{\max} = \frac{2\pi\hbar N}{L} = c\left(m_0 + \frac{e\varphi_{\max}}{c^2}\right). \tag{66}$$

При большом максимальном импульсе $(p_{\max})$ $\xi_0 \gg 1$ и $\Phi(\xi_0) \sim 1$. На основании (65), (66) вероятность рождения пары в единице объема

$$w = \frac{4}{(2\pi\hbar)^3} \frac{p_{\max}}{c} eE\hbar \exp\left(-\frac{\pi m_0^2 c^4}{eE\hbar c}\right) \Phi^2(\xi_0). \tag{67}$$

Далее для оценок незаконно применим формулу (67) к неоднородному статическому полю $E = Ze/r^2$ или $\varphi = Ze/r$. При вычислении полного числа пар (N_p) во всем пространстве будем полагать $p_{\max}$ в (67) зависящим от r:

$$p_{\max} = Ze^2 / cr, \tag{68}$$

где Ze – полный заряд материальной системы. Для полного числа пар, рожденных в данном поле за все время, получаем

$$N_p = \int_V w d^3 v = \frac{16\pi Z^2 e^4 \hbar}{(2\pi\hbar)^3 c^2} \int_{a_0}^{\infty} \frac{1}{r} \exp\left(-\frac{\pi m_0^2 c^4 r^2}{Z e^2 \hbar c}\right) dr =$$
$$= \frac{16\pi Z^2 e^4 \hbar}{(2\pi\hbar)^3 c^2} \int_{A_0}^{\infty} \frac{e^{-\xi^2}}{\xi} d\xi, \tag{69}$$

где $A_0 = \sqrt{\pi m_0^2 c^4 / Z e^2 \hbar c a_0}$, $a_0 = \sqrt{\varkappa Z} e / c^2$ – минимальный радиус. Так как

$$\int_{A_0}^{\infty} \frac{e^{-\xi^2}}{\xi} d\xi = \frac{1}{2} \int_{A_0^2}^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx = -\frac{1}{2} \mathrm{Ei}(-A_0^2),$$

то

$$N_p = -\frac{1}{\pi^2} (Z\alpha)^2 \mathrm{Ei}(-A_0^2). \tag{70}$$

При малых A_0^2, т.е. при

$$Z \ll \frac{1}{\pi\alpha}\left(\frac{e/\sqrt{\varkappa}}{m_0}\right)^2 \sim 10^{45}, \tag{71}$$

$$\mathrm{Ei}(-A_0^2) \sim c + \ln A_0^2, \tag{72}$$

c – постоянная Эйлера и, следовательно,

$$N_p \sim \frac{1}{\pi^2}(Z\alpha)^2\left[\ln\left(\frac{e/\sqrt{\varkappa}}{m_0}\right)^2 - c - \ln \pi Z\alpha\right],$$

или, имея в виду условие (71),

$$N_p \sim \frac{1}{\pi^2}(Z\alpha)^2 \ln\left(\frac{e/\sqrt{\varkappa}}{m_0}\right)^2. \tag{73}$$

Условие $(Z - N_p) = \max = Z_f$ дает значение заряда Z_f, которое остается непогашенным эффектом рождения пар:

$$Z_f = \max\left\{Z\left[1 - Z\frac{\alpha^2}{\pi^2}\ln\left(\frac{e/\sqrt{\varkappa}}{m_0}\right)^2\right]\right\} = \frac{\pi^2}{4\alpha^2 \ln\left(\frac{e/\sqrt{\varkappa}}{m_0}\right)^2}, \tag{74}$$

так как $\ln\left(\frac{e/\sqrt{\varkappa}}{m_0}\right)^2 \sim \frac{1}{\alpha}$, то $Z_f \sim 137$. Другими словами, эффект рождения пар в таком сильном электрическом поле уменьшает эффективный заряд горловины до конечного значения $Z_f \sim 137$ независимо от величины начального заряда Z[7].

Независимость значения конечного заряда от как угодно большой величины затравочного заряда следует и из известной формулы Ландау [9], связывающей значение голого заряда e_1, локализованного в малой области со значением физически эффективного заряда e, до которого эффект поляризации вакуума уменьшает исходный заряд e_1:

$$e^2 = \frac{e_1^2}{1 + \frac{e_1^2}{3\pi}\ln\left(\frac{\Lambda}{m_0}\right)^2}. \tag{75}$$

[7] Этот результат довольно естествен, так как при $Z > 137$, как известно, начинается процесс реального рождения пар [7, 10].

При большом значении заряда e_1 или, точнее, при

$$\frac{e_1^2}{3\pi}\ln\left(\frac{\Lambda}{m_0}\right)^2 \gg 1, \quad e^2 \sim \frac{3\pi}{\ln(\Lambda/m_0)^2}. \tag{76}$$

Любопытно отметить, что в грубо оценочной формуле (74) возникает тот же самый характерный логарифм, что и в формуле Ландау, а аргумент у логарифма в формуле (73) дает для введенного Ландау выражения

$$\Lambda = e/\sqrt{\varkappa} \sim 10^{28} \text{ эВ}. \tag{77}$$

Это как раз то значение Λ, которое обсуждается в статье Ландау в связи с возможной ролью гравитации в теории элементарных частиц. Образ обсуждаемого объекта даже с точки зрения шварцшильдовского наблюдателя очень сложен. Дело в том, что в начальный момент существования такой системы с большим электрическим зарядом ее внешние размеры, пропорциональные заряду, могут быть очень большими: $r_h^i = Z_i e\sqrt{\varkappa}/c^2$.

Образование пар уменьшает начальный заряд (Z_i) до $Z_f \sim 137$, следовательно[8],

$$r_h f \leqslant \frac{137 e\sqrt{\varkappa}}{c^2} \approx 10^{-30} \text{ см}.$$

Но в этой области Z ($Z_f \sim 137$) начинается заполнение оболочек (вокруг источника поля) с радиусами $\sim\hbar/mc$, где m – массы частиц рождаемых пар. Если учесть, что анодные частицы (например, протоны) имеют свои собственные размеры, то вокруг рассматриваемой системы возникает своеобразная атмосфера, которая увеличивает порядков на двадцать ее внешние размеры. Случайно или неслучайно, но объект, характерный по своим внешним свойствам для физики микромира, возникает из объекта космологического, и таким продолжает оставаться его внутреннее содержание.

В статье [3] для объектов с описанными свойствами вводится специальный термин "фридмоны".

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* Релятивистская астрофизика. М.: Наука, 1967. С. 419.
2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля. М.: Наука, 1973. 502 с.
3. *Марков М.А.* Препринт Д2-4534 / ОИЯИ. Дубна. 1969.
4. *Никишов А.И.* // ЖЭТФ. 1969. Т. 57. С. 1220.
5. *Новиков И.Д.* // Астрон. журн. 1963. Т. 10. С. 772.
6. *Новиков И.Д.* // Сообщ. ГАИШ. 1964. № 132.
7. *Gerstein S.S., Zeldovich Ja.* // Lett. nuovo cim. 1969. Vol. 1. P. 836.

---

[8] $r_h^f < 10^{-30}$ см, так как в предыдущих оценках не учитывалась возможность рождения всякого рода частиц.

8. *Graves J., Brill D.* // Phys. Rev. 1960. Vol. 120. P. 1507.
9. *Landau L.* Niels Bohr and development of physics / Ed. W. Pauli. L.: Pergamon press, 1955. P. 52.
10. *Pomeranchuk I., Smorodinsky Ja.* // Physics. (USSR). 1945. Vol. 9. P. 97.

К ТЕОРИИ ФРИДМОНОВ
(о роли гравитации в теории элементарных частиц)*

ВВЕДЕНИЕ

В моем докладе мне хотелось бы обратить внимание аудитории на возможности своеобразного космологического подхода к теории элементарных частиц. Хотелось бы обратить внимание на то, что почти замкнутая вселенная, содержащая огромное число галактик, в системе координат шварцшильдовского наблюдателя может иметь внешние параметры, т.е. полную массу, заряд, внешние размеры, подобные параметрам микрочастицы.

Более того, рассмотрение объектов с почти замкнутой метрикой дает модель протяженной частицы в общей теории относительности, свободную от трудностей с расходимостями и соответствующих трудностей нелокальных теорий в евклидовом пространстве.

Введение размеров элементарных частиц в евклидовом пространстве противоречит принципу причинности: сигнал вблизи частицы начинает распространяться со скоростью, большей предельной скорости света.

В общей теории относительности благодаря неевклидовой метрике сигнал вблизи частиц замедляется и распространяется со скоростью, меньшей скорости света.

Более того, если в евклидовом пространстве точечный объект является естественным, то в общей теории относительности при исчерпывающем описании[1] автоматически естественным оказывается образ частицы протяженной.

С физической точки зрения речь идет, конечно, о соответствующем учете гравитации в теории элементарных частиц. Здесь верховным принципом является, как это будет видно из дальнейшего, принцип равенства инертной и гравитационной масс.

Этот принцип выполнен в строгой теории, которая дается системой совместных уравнений Эйнштейна и, например, Максвелла. В общем случае решение этой системы сложно, особенно в квантовой области. Но теория будет свободна от расходимостей во всех приближенных уравнениях, если только в них выполняется принцип равенства инертной и гравитационной масс. В других отношениях приближение может быть как угодно грубым.

---

* Препринт / ОИЯИ; Р2-5289. Дубна, 1970.

[1] Имеется в виду полное пространственно-временно́е описание типа Крускала.

Здесь имеется в виду, в частности, математический аппарат теории гравитации Эйнштейна, переписанный для евклидова пространства, т.е. теория, например, типа теории Гупты и ее приближения.

В тех случаях, когда при учете гравитации в теории элементарных частиц нарушается равенство инертной и гравитационной масс, возникают расходимости даже более высокого порядка по сравнению, например, с электродинамикой.

Как известно, гравитационные масштабы порядков на двадцать отличаются от масштабов, с которыми мы имеем дело в теории элементарных частиц. Так, характерная гравитационная длина $l_g = \sqrt{\frac{\hbar \varkappa}{c^3}} = 10^{-33}$ см.

Поэтому давно сложилось интуитивное мнение, носящее характер предрассудка, о том, что гравитационное взаимодействие не может играть существенной роли в теории элементарных частиц, хотя давно известно, что в наиболее развитой теории – электродинамике – расходимость логарифмическая и там могут играть роль очень малые длины. Есть, как мы увидим, и другие обстоятельства, которые могут также поколебать сложившиеся предрассудки.

§ 1. К ТЕОРИИ ПОЧТИ ЗАКРЫТЫХ МИРОВ (ФРИДМОНЫ)

В этом разделе доклада мне хотелось бы обратить внимание на то, что существуют естественные условия, при которых системы с внешними микроскопическими параметрами[2] (фридмоны) образуются со временем автоматически независимо от начальных, как угодно больших макроскопических значений этих параметров.

Теперь небольшой экскурс в релятивистскую космологию.

Как известно, метрика закрытого мира Фридмана дается в виде [7]

$$ds^2 = d\tau^2 - a^2(\tau)[d\chi^2 + \sin^2\chi(d\vartheta^2 + \sin^2\vartheta d\varphi^2)]. \quad (1)$$

Имеются две фундаментальные характеристики (два признака) закрытого мира [7]:

1. Полная масса закрытого мира равна нулю:

$$M_{\text{tot}} = 0. \quad (2)$$

2. Закрытый мир обязательно электрически нейтрален:

$$\varepsilon = \Sigma e_i = 0. \quad (3)$$

Как известно, замкнутый мир Фридмана описывается соответствующими решениями Толмена для сферически-симметричного однородного и изотропного распределения пылевидной материи при давлении, равном нулю, и при соответствующей критической плотности вещества.

Равенство нулю полной массы (M_{tot}) закрытого мира является результатом возникновения гравитационного дефекта масс (ΔM), который достигает своего макси-

---

[2] Т.е. полной массой, полным зарядом и размерами системы, как она представляется шварцшильдовскому наблюдателю, практически на бесконечности.

мального значения ($M_0 - \Delta M = M_{tot} = 0$), когда плотность вещества становится равной критической.

Если, однако, эту систему зарядить, допустим, равномерно электрическим зарядом, то метрика мира перестает быть замкнутой при любом значении полного электрического заряда, отличного от нуля [9].

Если заряд системы таков, что электрические силы не в состоянии преодолеть гравитационного притяжения, то при плотности материи, большей критической, образуется метрика так называемого полузамкнутого мира вместо метрики замкнутой.

В данной системе возникает центр симметрии, и сферические поверхности, описываемые вокруг этого центра, при не очень большом электрическом заряде приближенно имеют вид

$$s^2 = a^2 \sin^2\chi, \text{ где } \chi < \pi/2. \tag{4}$$

Как и в случае отсутствия заряда при удалении от центра ($\chi = 0$), поверхности возрастают (до $\chi = \pi/2$), а при дальнейшем удалении от центра поверхности уменьшаются.

В случае отсутствия зарядов поверхность при $\chi = \pi$ стягивается в точку – мир замыкается.

Если система электрически заряжена, то при χ, близком к π (и при относительно малом заряде), метрика существенно отличается от фридмановской. Теперь сферическая поверхность не стягивается в точку, а возникает некоторая минимальная сфера (горловина), через которую метрика материальной системы связана с внешней метрикой Нордстрема–Рейсснера в пустом пространстве[3].

Параметры этой горловины получаются автоматически при сшивании внутренней метрики системы с внешней нордстрем-рейсснеровской метрикой [9].

Любопытно, что электрический потенциал в горловине не зависит от величины полного электрического заряда системы и равен

$$\varphi = \frac{c^2}{\sqrt{\varkappa}}, \tag{5}$$

где c – скорость света, $\varkappa$ – гравитационная константа. Дело в том, что с ростом расстояния, при $\chi > \pi/2$, как мы упоминали раньше, сферические поверхности уменьшаются, они играют как бы роль линз, сгущающих электрические силовые линии. Видимо, значение электрического потенциала, даваемого соотношением (5), является предельно большим значением, допускаемым теорией. С увеличением заряда системы электрический потенциал горловины не увеличивается, а пропорционально заряду (ε) увеличивается радиус горловины:

$$r_h = \frac{\varepsilon\sqrt{\varkappa}}{c^2}. \tag{6}$$

---

[3] У мира Фридмана появляется, по терминологии О. Клейна, "Aussenwelt". Я.Б. Зельдович и И.Д. Новиков подобные объекты называют "полузамкнутыми мирами".

Значение полной массы системы дается выражением

$$m = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\varkappa}}. \tag{7}$$

При $\varepsilon \to 0$ полная масса системы обращается в нуль – как это имеет место в закрытом мире Фридмана.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что полная масса системы в этом случае оказывается электростатического происхождения.

В данном случае все параметры m, ε, r_h имеют, вообще говоря, ультрамакроскопические значения.

Теперь хотелось бы обратить внимание на одно очень важное обстоятельство: размеры горловины устойчивы лишь при классическом рассмотрении. Как только мы примем во внимание то обстоятельство, что в таких огромных электрических полях, которые имеют место в горловине, возникают эффекты рождения пар заряженных частиц, картина становится существенной иной. Действительно, частица рожденной пары с зарядом, противоположным заряду системы, падает на систему, уменьшая ее полный заряд. Другая компонента пары, отталкиваясь от заряда системы, уходит на бесконечность.

Таким образом, происходит бурное уменьшение полного заряда системы ε, а по формуле (7) происходит уменьшение полной массы системы, и по формуле (6) происходит уменьшение внешних размеров системы, ее горловины. Система стремится как можно полнее замкнуться.

Оценки показывают [9][4], что этот процесс рождения пар уменьшает полный заряд системы до конечной величины:

$$Z_f \leqslant \frac{1}{\alpha \ln\left(\frac{e}{\sqrt{\varkappa}} / m_e\right)^2}, \tag{8}$$

где α – константа тонкой структуры, ε – электрический заряд, m_e – масса электрона.

Так как

$$\ln\left(\frac{e/\sqrt{\varkappa}}{m_e}\right)^2 \sim \frac{1}{\alpha},$$

то

$$Z_f \leqslant 137. \tag{9}$$

Существенно подчеркнуть то фундаментальное обстоятельство, что: а) конечный заряд системы Z_f не зависит от ее начального заряда; б) конечный заряд имеет микроскопическую величину:

$$e_f \leqslant 137e; \tag{10}$$

[4] В которых принято во внимание рождение только электрон-позитронных пар.

в) внешние размеры системы имеют микроскопические размеры:

$$r_h \leqslant 137\frac{e\sqrt{\varkappa}}{c^2} \sim 10^{-30} \text{ см} \tag{11}$$

и полная масса

$$m_f < \frac{137e}{\sqrt{\varkappa}} \sim 10^{-4} \text{ г}. \tag{12}$$

Соотношения (10)–(12) имеют вид неравенств. Эти соотношения дают верхние границы для конечного заряда и массы.

Реальные значения этих величин значительно ниже. Так, электрический заряд, локализованный в такой малой области, должен сильно заполяризовываться. Если полагать, что и к данному случаю имеет отношение известная формула Ландау [20], связывающая полный заряд ε с эффективным зарядом e, до которого заряд уменьшается вследствие поляризации вакуума, то

$$e^2 = \frac{\varepsilon^2}{1 + \nu\varepsilon^2 \ln\left(\frac{\Lambda}{m_e}\right)^2}, \tag{13}$$

где m_e – масса электрона, ν – число различных видов рождающихся пар, Λ – предельное значение параметра, связанного с областью локализации заряда. При $\varepsilon^2\nu \ln\left(\frac{\Lambda}{m_e}\right)^2 \gg 1$ выражение (13) принимает вид

$$e^2 \to \frac{1}{\nu \ln\left(\frac{\Lambda}{m_e}\right)^2}. \tag{14}$$

Любопытно, что в ранее полученном выражении (8) присутствует тот же характерный логарифм, что и в формуле Ландау. Только в формуле (8) конкретизируется вид параметра Λ, а именно оказывается, что

$$\Lambda = \frac{e}{\sqrt{\varkappa}} \sim \frac{10^{-27}}{c^2} \text{ г}. \tag{15}$$

В формуле (8) Λ принимает примерно то значение, которое обсуждается в работе Ландау в связи с гипотезой о возможной роли гравитации в теории элементарных частиц. В нашем случае значение параметра Λ раскрывается естественным образом автоматически. Интересно, что формула (8) и формула (14) получены из совершенно различных соображений и различными математическими путями.

Согласно (14), конечное значение заряда системы также не зависит от его начального значения ε, и оно может быть близко к заряду электрона. При $\varepsilon \to 0$ метрика закрывается. Такой объект, такую систему мы называем "фридмоном".

Что касается пространственных размеров системы, то выражение (11), в сущности, дает классическую "сердцевину" объекта, вокруг которой должна возникать своеобразная "атмосфера", состоящая из различных элементарных частиц.

Дело в том, что при $e_f \leqslant 137e$, когда частицы рожденных пар перестают "падать" на заряженный центр, соответствующие заряды заполняют соответствующие орбиты вокруг заряженного центра.

Радиусы первой боровской орбиты оцениваются в виде

$$r_b \sim \frac{\hbar}{Me_f e}. \tag{16}$$

Если в связанном состоянии нет стабильных частиц тяжелее нуклонов, то наиболее плотная "атмосфера" фридмона находится на расстоянии 10^{-14}–10^{-13} см от сердцевины объекта. Если эта картина верна, то между радиусами электростатического фридмона 10^{-30}–10^{-15} см должно быть пустое пространство.

Мы видим, таким образом, что внешние размеры фридмонов должны быть порядка размеров адронов.

Что касается массы фридмона, то соотношение

$$m_f \leqslant \frac{e}{\sqrt{\varkappa}} \sim 10^{-6} \text{ г} \tag{17}$$

дает лишь верхнюю оценку.

Более того, соотношение (17) можно рассматривать как соотношение, дающее соответствующую оценку для предельно большой массы микроскопической частицы (элементарной частицы вообще). Если микроскопические частицы такой предельной массы существуют ("максимоны"), то они могли бы играть роль кварков: при этих массах гравитационные силы, действующие между ними, достаточны для образования систем с дефектом масс, сравнимым с массами этих частиц [8].

Нами рассмотрена система, которая является источником электрического поля, будем говорить – электростатический фридмон. Но соответствующие фридмоны возникают в любых других векторных полях.

Так, янг-миллсовский [25] фридмон будет иметь соответствующую массу:

$$m_Y^f < \frac{\mu}{\sqrt{\varkappa}} \sim 10^{-5/2} m_p, \tag{18}$$

где m_p – масса протона, т.е. массу меньше десяти электронных масс, если взять возможную оценку μ из статьи Ли и Янга [21].

Оценка массы ρ-мезонного фридмона дает верхнее значение массы, более высокое, чем для электростатического фридмона:

$$m_\rho^f \leqslant \frac{g}{\sqrt{\varkappa}}. \tag{19}$$

Невекторные поля, вернее, поля, в которых нет различия частиц и античастиц (например, скалярное поле), не мешают образованию замкнутой метрики.

Более того, комбинированные поля, например электромагнитное и скалярное, уменьшают полную массу фридмона, так как соответствующие выражения для массы фридмона имеют вид [1]

$$m^f \leqslant \sqrt{\frac{e^2 - G^2}{\varkappa}}, \tag{20}$$

где G – константа взаимодействия со скалярным полем.

Таким образом, масса фридмона может быть различной. Она может быть очень малой, если, кроме электрического поля, имеются в наличии другие поля, которые дают отрицательный вклад в собственную энергию их источника. Таким свойством обладают, например, скалярное поле и, по-видимому, некоторые варианты четырехфермионных взаимодействий.

Более того, в квантовой релятивистской теории в случае электродинамики, когда классическая линейная зависимость заменяется логарифмической, соответствующий логарифм, мы видели (13), может обрезаться на длинах порядка (15), что ведет к электромагнитной массе порядка массы электрона.

Таким образом, в рамках общей теории относительности могут реализовываться системы с микроскопическими значениями параметра, близкими к параметрам так называемых элементарных частиц.

Поражает автоматизм в образовании таких систем с внешними микроскопическими параметрами.

Хотелось бы обратить внимание на то, что существует автоматизм образования фридмонных ансамблей одинаковых частиц.

Если бы Господь Бог по своему произволу начал творить вселенные с критической плотностью материи, вселенные, различные по числу галактик, по полному электрическому заряду, то через некоторое время Творец увидел бы вместо различных вселенных ансамбль тождественных микроскопических частиц – фридмонов. С этой точки зрения вся вселенная может во внешней системе координат представлять собой элементарную частицу. Элементарная частица внутри себя за пределами ее внешних размеров может представлять собой вселенную, содержащую необозримое число галактик. Являются ли фридмоны новым классом частиц микромира или и другие элементарные частицы в какой-то мере родственны фридмонам?

В последнем случае возникала бы возможность общего теоретического подхода как к элементарным частицам, так и к вселенной в целом. Но независимо от последних замечаний данная система – фридмон – может рассматриваться как своеобразная модель для "протяженной" частицы, как объект со своеобразным формфактором, возможным только в рамках общей теории относительности.

§ 2. ФРИДМОН КАК ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЧАСТИЦЫ, СВОБОДНОЙ ОТ РАСХОДИМОСТЕЙ

Метрика внешнего пространства электрического фридмона в координатах Нордстрема–Рейсснера записывается в виде

$$ds^2 = \Phi dt^2 - \Phi^{-1} dr^2 - r^2 d\sigma^2, \tag{21}$$

где

$$\Phi = \left(1 - \frac{r_0}{r}\right)^2 \tag{22}$$

при

$$r_0 = \frac{\sqrt{\varkappa} e}{c^2} = \frac{\varkappa m_0}{c^2}. \tag{23}$$

Здесь m_0, e – полная масса и полный электрический заряд системы.

Очень своеобразный вид метрики возникает в изотропных координатах:

$$ds^2 = \psi^{-1} d\tau^2 - \psi(dR^2 + R^2 d\sigma^2), \tag{24}$$

где

$$\psi = \left(\frac{R + r_0}{R}\right)^2. \tag{25}$$

В изотропных координатах уравнение для электростатического потенциала принимает вид

$$(R + r_0)^2 \frac{\partial \varphi}{\partial R} = \text{const} = e \tag{26}$$

или

$$\varphi = \frac{e}{R + r_0}. \tag{27}$$

Таким образом, потенциал в нуле ($R = 0$) конечен:

$$\varphi_{R=0} = \frac{e}{r_0} = \frac{c^2}{\sqrt{\varkappa}}. \tag{28}$$

Вычисление полной энергии в ОТО встречает известные трудности, так как четырехмерный вектор энергии импульса в ОТО не является хорошо определенной величиной. Если взять известное определение Мёллера, согласно которому [16] энергия E имеет в изотропных координатах вид

$$E = \frac{c^2}{4\pi\varkappa} \int_S hR^2 \sin\theta d\theta d\phi \tag{29}$$

при $R = \text{const} \to \infty$, где $h = -\frac{d\psi}{dn}\left(\frac{1}{\psi^2}\right)^{1/2} = \frac{2r_0}{R(R+r_0)}$, т.е.

$$\frac{E}{c^2} = \frac{2r_0 R}{\varkappa(R+r_0)} \sim \frac{2r_0}{\varkappa} = \frac{2e}{\sqrt{\varkappa}} \tag{30}$$

– энергия конечна в согласии с изложенной выше теорией фридмона.

Существенно подчеркнуть, что в изотропных координатах фридмон, метрика которого дается выражением (24), является точечным объектом.

В этих координатах при $R \to 0$ компоненты фундаментального тензора $g_{\mu\nu}$ имеют особенность, но эта особенность не сказывается на значении физических величин – электрического потенциала и полной энергии.

Изотропные координаты удобны для внешнего описания фридмона, в частности поведения его во внешних полях как точечного объекта. Любопытно отметить, что в координатах Нордстрема–Рейсснера (21) в отличие от изотропных координат (24) фридмон неточечный[5].

Здесь потенциал имеет вид

$$\phi = \frac{e}{r},$$

но r меняется только от $r = \infty$ до $r = r_0 = \frac{e\sqrt{\varkappa}}{c^2}$, и в точке $r = r_0$ потенциал принимает значение

$$\phi_{r=r_0} = \frac{e^2}{\sqrt{\varkappa}},$$

т.е. то же максимальное значение, которое достигается в изотропных координатах при $R = 0$.

Хотелось бы подчеркнуть то обстоятельство, что рассматриваемый объект (фридмон), взятый сам по себе, представляет собой удовлетворительную во многих отношениях модель протяженной заряженной частицы.

Так как рассматриваемый протяженный объект описывается решениями релятивистских уравнений с локальными взаимодействиями, то в данном случае по определению не могут возникнуть трудности обычной нелокальной теории – нарушение причинности и пр.

С некоторой точки зрения при описании данного "протяженного" объекта (фридмона) возникает формфактор. Но благодаря соответствующему изменению метрики вблизи заряда сигнал распространяется со скоростью, меньшей скорости света.

---

[5] Возможность объекту быть точечным или протяженным в ОТО в зависимости от используемых координат указана в работах [12, 13]. Работы Арновита, Дезера, Мизнера [12, 13] и О. Клейна [19] очень существенны для понимания различных сторон обсуждаемых здесь проблем. В связи с этим см. также: *Марков М.А.* Closed universe... // Препринт ОИЯИ; Д2-4534. Дубна, 1969.

Так, в изотропных координатах, согласно формуле (24), скорость света дается в виде

$$\frac{dR}{dt} = \left(\frac{R}{R + r_0}\right)^2 c \tag{31}$$

и

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)_{R \to 0} \to 0.$$

Трудности, подобные трудностям нелокальной теории, возникают и при попытке строить соответствующую нелинейную теорию поля, свободную от расходимостей [3].

Были попытки так формально переопределить метрику, чтобы в нелинейных теориях такого вида получить в согласии с принципом причинности соответствующую скорость распространения сигнала [2, 4]. В этих попытках речь шла о специальных примерах, иллюстрирующих ситуацию, но в общем в рамках современной теории, взятых ad hoc. Модель, о которой идет речь в данном случае (фридмон), описывается полностью в рамках современной теории. Более того, если угодно, можно подчеркнуть, что в данном случае идет речь о нелинейной теории – так как часть совместных уравнений (уравнения Эйнштейна) представляют собой систему нелинейных уравнений.

В принципе, исключая $g_{\mu\nu}$ из системы уравнений Эйнштейна–Максвелла, мы должны для электромагнитного поля получить действительно нелинейное уравнение[6].

Хотелось бы также напомнить, что имеется еще одна трудность для попыток чисто электромагнитного толкования массы источника электрического поля.

Как известно, в этом случае полный импульс электромагнитного поля заряда, движущегося с постоянной скоростью v, равен

$$\bar{p} = \frac{4}{3}\frac{\bar{v}}{\sqrt{1-\beta^2}}\frac{u_0}{c}. \tag{32}$$

---

[6] Можно вычислить формальный формфактор, который в евклидовом пространстве дает тот же вид электростатического потенциала. Фролов получил для соответствующего формфактора в пространстве импульса выражение

$$c(k) = 1 + r_0 k[\mathrm{Ci}(r_0 k)\sin(r_0 k) - \mathrm{Si}(r_0 k)\cos(r k_0)].$$

С этим формфактором логарифмически расходящееся выражение для собственной энергии электрона Дирака принимает вид

$$E_{\mathrm{cl}} = \frac{m_e c^2 \alpha}{\pi}\left(\frac{3}{2}\ln\frac{e m_e}{\sqrt{\varkappa}} + \gamma\right),$$

т.е. E_{cl} в пределах порядка равно доле электронной массы. Конечно, подобные оценки могут быть получены и в ряде других эффектов, но здесь содержится гипотеза, что такой способ оценок окажется достаточно хорошим приближением, ибо теория с формфактором в евклидовом пространстве сама по себе не является последовательной.

Коэффициент $4/3$ появляется потому, что при подсчете полного импульса поля движущегося заряда, кроме T_{44}^{0} дает свой вклад добавочный член T_{11}^{0}, обусловленный максвелловскими напряжениями. Коэффициент $4/3$ в свое время широко обсуждался и считался некоторое время назад главным препятствием для построения электромагнитной теории массы частиц. Считалось, что, кроме сил электромагнитных, необходимо вводить силы неэлектромагнитного происхождения (в рамках линейных теорий), которые должны гасить эти максвелловские напряжения. В данной модели эту роль выполняют гравитационные силы.

Надо также подчеркнуть, что в данном рассмотрении речь идет о классической теории источника электрического поля, свободной от расходимостей.

§ 3. О ФРИДМОННОМ ХАРАКТЕРЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СОСТОЯНИЙ В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

Возникает вопрос, является ли фридмон феноменологической моделью в известном смысле протяженной частицы, теория которой свободна от расходимостей, или фридмонная ситуация реализуется сама собой при учете разумным образом гравитации в теории элементарных частиц?

Проведем некий качественный анализ гравитационной ситуации, которая возникает в промежуточном состоянии, когда частица испускает какой-то квант энергии.

При испускании любой частицей кванта энергии с полной массой m_0 в виртуальном состоянии эта масса на основании соотношения неточностей локализована в области r так, что

$$m_0 \sim \frac{\hbar}{rc}. \tag{33}$$

Другими словами, в данный момент вокруг частицы возникает виртуальная масса с плотностью не менее чем

$$\rho \sim \frac{m_0}{r^3} \sim \frac{\hbar}{cr^4}. \tag{34}$$

В ньютоновском приближении учет гравитационного дефекта массы дает выражение для полной массы в виде

$$m_{\text{tot}} = m_0 - \frac{\varkappa m_0^2}{2c^2 r} \quad \text{или} \quad m_{\text{tot}} = \frac{\hbar}{rc} - \frac{\varkappa \hbar^2}{r^3 c^5}. \tag{35}$$

Полная масса обращается в нуль при

$$r \sim \sqrt{\frac{\hbar \varkappa}{c^3}}, \tag{36}$$

т.е. при полной массе кванта

$$m \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa}} \sim 10^{-5} \text{ г}, \tag{37}$$

но при $r \to 0$ соотношение (35) дает для $m_{\text{tot}} \to -\infty$.

Эта расходимость возникает в результате очень грубого приближения в теории гравитации, нарушающего фундаментальное свойство материи, именно равенство инертной и гравитационной масс [12, 13].

Любое приближение в теории гравитации, которое сохраняет равенство инертной и гравитационной масс, будет свободно от данной расходимости.

Например, если соотношение (35) переписать в виде (9), где удержано равенство инертной и гравитационной масс:

$$m = m_0 - \frac{\varkappa m^2}{2c^2 r}, \tag{38}$$

то при $r \to 0$ полная масса стремится также к нулю[7]:

$$m|_{r\to 0} = \varkappa^{-1}[(r^2c^4 + 2\varkappa m_0 rc^2)^{1/2} - rc^2] \to 0.$$

В строгой классической теории Эйнштейна не может возникнуть отрицательная масса как результат гравитационного взаимодействия (гравитационного дефекта данной системы).

С точки зрения общей теории относительности ситуация иллюстрируется таким образом, что с увеличением испускаемого кванта увеличивается отклонение от евклидовой метрики. И когда плотность энергии в соответствующем пакете становится близкой к критической, система представляет собой мир с закрытой метрикой, полная масса которого, как известно, равна нулю.

Закрытый мир Фридмана дается метрикой (1), где положим $cdt = ad\eta$.

Так как предыдущие оценки показывают, что речь идет об энергиях кванта или его массе 10^{-4}–10^{-6} г, т.е. массе, по сравнению с которой собственными массами всех известных элементарных частиц можно пренебречь, то в этом ультрарелятивистском случае следует полагать давление

$$p = \frac{\varepsilon}{3}, \tag{39}$$

где ε – плотность энергии.

Известное термодинамическое соотношение

$$-\frac{d\varepsilon}{p+\varepsilon} = 3\frac{da}{a} \tag{40}$$

---

[7] При $r \sim \sqrt{\frac{\hbar\varkappa}{c^3}}$ $m \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa}}$, как и в ньютоновском приближении.

для плотности "голой" энергии ε дает выражение

$$\varepsilon = \frac{B}{a^4}, \tag{41}$$

где B – константа.

Уравнение Эйнштейна запишется теперь в виде

$$\frac{8\pi\varkappa\varepsilon}{3c^4} = \frac{\varkappa B}{3a^4c^4} = \frac{1}{a^4}\left[\left(\frac{da}{d\eta}\right)^2 \frac{1}{a^2} + 1\right]. \tag{42}$$

В момент максимального расширения мира (размеры, допускаемые соотношениями Гейзенберга)

$$\frac{8\pi\varkappa\varepsilon}{3c^4} = \frac{1}{a_0^2}, \tag{43}$$

где a_0 – радиус данного мира в момент его максимального расширения, или

$$\varepsilon = \frac{3c^4}{8\pi\varkappa a_0^2}. \tag{44}$$

Полная "голая" масса

$$M_0c^2 = \int \varepsilon dv = \frac{3}{4}\pi c^4 a_0,$$
$$M_0c^2 = \hbar\nu_0, \quad \hbar\nu_0 = \frac{\hbar c}{\lambda} = \frac{3}{4}\frac{\pi c^4 a_0}{\varkappa} \tag{45}$$

при $a_0 \sim \lambda \left(\lambda \sim \sqrt{\frac{\hbar\varkappa}{c^3}}\right)$ равна

$$M_0 \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa}}. \tag{46}$$

Таким образом, учитывая соотношение неточностей Гейзенберга в локализации испускаемой энергии в промежуточном состоянии, мы приходим к выводу, что энергетическая ситуация в промежуточном состоянии при испускании кванта

$$\frac{\hbar\nu}{c} = M_0 = \sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa}}$$

носит фридмонный характер, что нейтральная материя, локализованная с такой плотностью, ведет к закрытой метрике с эффективной внешней массой, равной нулю.

Поэтому квант с энергией $\hbar\nu \leqslant M_0 c^2 = c^2 \frac{\hbar c}{\varkappa}$ является предельным значением кванта в промежуточном состоянии, которое может вносить реальный максимальный вклад при подсчете собственной энергии электрона[8].

§ 4. КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАКТОВКА ПРОБЛЕМЫ

Можно пойти по формальному пути включения гравитации в современный формализм теории поля.

Один из способов построения в этом смысле общего формализма в теории элементарных частиц – это присоединить к системе уравнений элементарных частиц уравнения гравитации Эйнштейна, записанные для евклидова пространства в форме Гупты [18].

Как известно, уравнения гравитационного поля Эйнштейна могут быть переписаны в плоском пространстве в виде

$$\Box\gamma_{\mu\nu} = \varkappa\theta_{\mu\nu}; \quad \theta_{\mu\nu} = T_{\mu\nu} + t_{\mu\nu} \tag{47}$$

с дополнительным условием $\frac{\partial\gamma_{\mu\nu}}{\partial x_\nu} = 0$. Следовательно,

$$\frac{\partial\theta_{\mu\nu}}{\partial x_\nu} = 0, \tag{48}$$

где $T_{\mu\nu}$ – тензор энергий всех рассматриваемых полей, $t_{\mu\nu}$ – псевдотензор энергии гравитационного поля. В евклидовом пространстве по отношению к преобразованиям Лоренца $t_{\mu\nu}$ ведет себя как тензорная величина.

---

[8] Соответствующие длины, о которых шла речь в классической электродинамике, это (23): $r_0 = \frac{e\sqrt{\varkappa}}{c^2}$, в векторной мезодинамике нейтральных, например, ρ-мезонов (19):

$$r_\rho = g_\rho \frac{\sqrt{\varkappa}}{c^2}$$

и в квантовой электродинамике (36) возникает, как мы видели,

$$r = \sqrt{\hbar c}\,\frac{\sqrt{\varkappa}}{c^2}.$$

Все эти длины находятся в пределах одного порядка. Обращает на себя внимание близость величин g_ρ и $\sqrt{\hbar c}$. Не исключено, что близость значений, например, ρ-мезонного заряда g_ρ и $\sqrt{\hbar c}$ не случайна, что, может быть, в последовательной теории окажется

$$g_\rho = \sqrt{\hbar c}.$$

Такая простота записи исходных нелинейных уравнений является кажущейся, так как $t_{\mu\nu}$ представляет собой бесконечный ряд по гравитационной константе, т.е. соответствующий лагранжиан также дается бесконечным рядом. Интеграл правой части уравнения, записанный в евклидовом пространстве, дает в статическом случае полную инертную массу объекта:

$$\frac{1}{c^2}\int \theta_{00} dV = m. \tag{49}$$

Мы рассматриваем, пользуясь терминологией ОТО, островной характер распределения материи – материю, локализованную в форме частиц, имеющих полную массу, отличную от нуля. В этих случаях обязательно имеется внешнее, вообще говоря, шварцшильдовское решение с гравитирующей полной массой m.

Другими словами, подинтегральное выражение (49) должно быть также функцией гравитирующей массы[9].

Уравнение (49) представляет собой уравнение для определения массы m:

$$\frac{1}{c^2}\int \theta_{00}(m) dV = m. \tag{50}$$

Пока речь идет о классике.

Но уравнения в форме Гупты удобны для квантования, правда, приспособленному к теории возмущения по гравитационной константе.

На данном этапе рассмотрения нам не столь важно, насколько данное приближение количественно правильно описывает явления, сколько то обстоятельство, что данное приближение сохраняет равенство инертной и гравитационной масс, если оно его сохраняет.

Если дана квадратичная форма в виде

$$ds^2 = \sum_{\mu=0}^{3} g_{\mu\mu}(dx^\mu)^2,$$

то уравнение Дирака, согласно Фоку [10, 11, 22], записывается таким образом:

$$-i\hbar\sum_{\mu=0}^{3}\frac{\alpha_\mu}{\sqrt{g_{\mu\mu}}}\left[\frac{\partial\psi}{\partial x_\mu}-\frac{ie}{\hbar c}A_\mu\psi+\frac{1}{2}\frac{\partial}{\partial x_\mu}\left(\ln\sqrt{\frac{-g}{g_{\mu\mu}}}\right)\psi\right]+mc\alpha_0\psi=0. \tag{51}$$

---

[9] В простом классическом случае это, например, квадратное уравнение для определения m [см. формулу (38)]. Рассматривая приближенное уравнение [статический случай уравнения (47)] $\nabla^2 u = m_0\delta(\vec r)\left(1+\frac{u}{c^2}\right) = m\delta(\vec r)$ как "точное", т.е. полагая $u = -\frac{\varkappa m}{r}$, а не $-\frac{\varkappa m_0}{r}$, мы получаем $m_0\left(1-\frac{\varkappa m}{c_\varepsilon^2}\right)_{\varepsilon\to 0} = m$ или $m = \left.\frac{m_0 c^2\varepsilon}{c^2\varepsilon+\varkappa m_0}\right|_{\varepsilon\to 0} \to 0$. Выражение (38) возникает если $1 + u/c^2$ рассматривать как первые члены более точного выражения $1+u/c^2 \sim \frac{1}{1-u/c^2}$.

Соответствующий член энергии взаимодействия электромагнитного поля с электроном имеет вид

$$T_{\mu\mu} \sim e\frac{A_\mu \overline{\psi}\alpha_\mu \psi}{\sqrt{g_{\mu\mu}}}, \qquad (52)$$

при этом

$$T_{00} \sim e\frac{A_0 \overline{\psi}\alpha_0 \psi}{\sqrt{g_{00}}}. \qquad (53)$$

В методе квантования Гупты полагается $g_{\mu\mu} = 1 - \varkappa\gamma_{\mu\mu}$. Следовательно,

$$T_{00} \sim e\frac{A_0 \overline{\psi}\alpha_0 \psi}{1 - \frac{1}{2}f\gamma_{00} - \frac{1}{8}f^2\gamma_{00}^2 + \ldots}. \qquad (54)$$

Регуляризирующий характер взаимодействия такого типа недавно исследовался в работах [14, 23].

Авторы исходят из формальных аппаратных наблюдений, что вводимая нелинейность взаимодействий может играть регуляризирующую роль [5, 8, 24]. Но формальное рассмотрение задачи без ясной наглядной физической идеи, почему гравитация должна играть роль регулирующего поля и какие требования приближения эту роль сохраняют, не создает уверенности, что отрицательный или положительный результат не является лишь результатом данного приближения, что возникает он лишь в результате суммирования, может быть, очень большого, но всегда неполного числа граф Фейнмана.

Несколько лет назад в интересной работе Де-Витта [15] поставлен вопрос: *Gravity A Universal Regulator*?

В лестничном приближении на основе уравнения Бете–Солпитера получено конечное значение собственной электромагнитной энергии скалярной частицы. В этой же работе получено смещение пропагатора

$$\frac{1}{x^2} \to \frac{1}{x^2 - \lambda^2}, \quad \lambda = \sqrt{\frac{\hbar\varkappa}{c^3}},$$

обязанное гравитации, обеспечивающее сходимость прежде расходящихся величин. Но неуверенность в законности ряда сделанных приближений не дала автору сделать утвердительное заключение. Это рассмотрение Де-Витта только могло инициировать вопрос.

Мы ищем физическое понимание регуляризирующей роли гравитационного поля.

Дело в том, что собственная энергия источника гравитационного поля отрицательна. Поэтому в системе полей, которые дают положительный вклад, гравитация в принципе может играть роль реалистического регуляризатора.

Гравитационное поле создает дефект масс, который должен быть учтен в общем энергетическом балансе системы.

Задача формализма – учесть гравитационный дефект масс так, чтобы *сохра-*

нить в силе в рассматриваемых приближениях фундаментальный принцип – *равенство инертной и гравитационной масс*[10].

В начале доклада было выдвинуто положение, что если в формализме современной теории элементарных частиц естественным оказывается образ точечной частицы, то в общей теории относительности естественно возникает образ протяженной частицы.

Это положение хотелось бы несколько пояснить далее.

Дело в том, что точечность частицы задается в формализме соответствующей δ-функцией. Физически δ-функция понимается как предел некоторого распределения плотности при стягивании, допустим, его пространственных размеров в точку.

Если нам задана какая-то функция плотности материи и мы начинаем стягивать это распределение во все меньшую и меньшую область, то плотность материи в этой системе увеличивается.

Как бы ни была мала начальная масса объекта при некоторых неточечных размерах, плотность вещества станет равной критической, при которой возникает закрытая метрика в случае нейтральной материи и почти закрытая метрика в случае, например, электрического заряда, т.е. возникает электростатический фридмон, т.е. объект, имеющий внешние размеры и, вообще говоря, внутреннюю структуру. Классическое описание объекта в его внутренней части дается почти фридмановской метрикой, его внешняя метрика является метрикой типа Крускала, или даже нордстрем-рейсснеровской.

Другими словами, в последовательном квантово-механическом формализме, описывающем электродинамику в рамках общей теории относительности, переход к классической физике *необходимо* должен давать для, допустим, электрона образ классического фридмона.

Но тот формальный аппарат в виде системы уравнений Эйнштейна и, допустим, Максвелла и Дирака, о котором шла речь выше, приводит при $\hbar \to 0$ к метрике Нордстрема–Рейсснера при $e \neq 0$ или к метрике Шварцшильда при $e = 0$ и $m \neq 0$. Но, как известно, метрика Шварцшильда не дает полного пространственно-временно́го описания объекта – эта метрика содержит фиктивные полюса на гравитационном радиусе.

Полное же описание объекта дается, как известно, в координатах типа Крускала.

Физическая интерпретация координат Крускала дана И.Д. Новиковым [6], согласно которому соответствующая полная метрика внутри частицы дается метрикой Фридмана, которая через горловину переходит во внешнюю метрику, евклидову на бесконечности.

Последние замечания свидетельствуют о том, что квантово-механическая трактовка в форме уравнений (47), (51), хотя, возможно, и может давать в некоторых приближениях результаты, свободные от расходимостей, – это описание, по-видимому, не может являться исчерпывающим.

---

[10] В противном случае возникает бесконечно большой дефект масс: так будет во всех случаях, когда правая часть уравнения (47), вернее, содержащиеся в нем $\gamma_{\mu\nu}$ строятся в явном виде на основании разложения по $\varkappa$, а не находятся из формально написанного в данном "приближении" нелинейного уравнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асанов Р.А., Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1967. Т. 5, вып. 11. С. 417.
2. *Блохинцев Д.И.* // Докл. АН СССР. 1956. Т. 68. С. 774.
3. *Блохинцев Д.И., Орлов В.* // ЖЭТФ. 1953. Т. 25. С. 503.
4. *Дао Вонг Дык, Нгуен Ван Хьеу* // ТМФ. 1970. Т. 2, № 1.
5. *Ефимов Г.В.* // ЖЭТФ. 1963. Т. 17. С. 1417.
6. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* Релятивистская астрофизика. М.: Наука, 1967. С. 415.
7. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля. М.: Наука, 1967. С. 434.
8. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1966. Т. 51. С. 878.
9. *Марков М.А., Фролов В.П.* // ТМФ. 1970. Т. 3, № 1.
10. *Огиевецкий В., Полубаринов И.* Препринт Р-1890 / ОИЯИ. Дубна, 1964.
11. *Фок В.А.* Некоторые идеи применения идей Лобачевского в механике и физике. М.: Гостехтеоретиздат, 1950. С. 57.
12. *Arnowitt R., Deser S., Misner C.* // Phys. Rev. 1960. Vol. 120. P. 313–324.
13. *Arnowitt R., Deser S., Misner C.* // Ann. Phys. 1965. Vol. 38. P. 88.
14. *Budini, Calucci G.* Preprint IC /70/37. Trieste, 1970.
15. *DeWitt B.S.* // Phys. Rev. Lett. 1964. Vol. 13. P. 114.
16. *Florides P.S.* // Proc. Cambridge Philos. Soc. 1962. Vol. 58. P. 102.
17. *Fradkin E.S.* // Nucl. Phys. 1963. Vol. 49. P. 614.
18. *Gupta S.N.* // Rev. Mod. Phys. 1957. Vol. 29. P. 334.
19. *Klein O.* Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit. Braunschweig: Veiweg, 1961.
20. *Landau L.D.* Niels Bohr and development of physics / Ed. W. Pauli. L.: Pergamon press, 1955. P. 52.
21. *Lee T.D., Yang C.N.* // Phys. Rev. 1955. Vol. 98. P. 1501.
22. *Ogievesky B., Polubarinov I.* // Ann. Phys. 1963. Vol. 25. P. 358.
23. *Salam A., Strathdee J.* Preprint IC /70/38. Trieste, 1970.
24. *Volkov M.K.* // Ann. Phys. 1968. Vol. 49. P. 202.
25. *Yang C.N., Mills R.L.* // Phys. Rev. 1954. Vol. 96. P. 191.

ON THE EXTENDED PARTICLE MODEL IN THE GENERAL THEORY OF RELATIVITY*

SUMMARY

The Einstein–Maxwell field equations allows some specific solutions, these are almost closed Friedmann worlds the metrics of which are connected with the Nordström–Reissner metric through a narrow throat. The classical parameters of this object, the sizes of the throat, its potential and the total mass of the system

$$r_h = \frac{\varepsilon\sqrt{\varkappa}}{c^2}; \quad \varphi_h = \frac{c^2}{\sqrt{\varkappa}}; \quad m = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\varkappa}}$$

* Препринт / ОИЯИ; E2-5271. Дубна, 1970.

are given. These classical systems turn out to be unstable – the pair production effect in strong throat fields polarizes the initial charge of the system and classical systems with different initial charges tend (as $t \to \infty$) to one and the same almost closed system, the so-called "friedmon" with microscopic values of the total charge, sizes and the total mass.

The system ("friedmon") is viewed as the extended particle model in the general relativity theory. It can also be regarded as a specific example of a model with form factor in which the signal propagates with a velocity which is smaller than the velocity of light due to an appropriate change of the metric. In the Euclidean space the form factor leads, as a rule, to the appearance of superlight signals.

In my report I would like to draw attention to the fact that in the general relativity theory there appear peculiar possibilities of introducing the sizes of particles with the help of the form factors.

The difficulties of the nonlocal field theory or, more exactly, of the extended field sources are that in such a theory the signal can propagate with a velocity larger than the velocity of light thereby violating causality. Yet, the change of the metric near the source characteristic of the general relativity theory decreases the velocity of the signal propagation and thereby may conserve causality. It seems at first sight that the gravitational scales differ by about twenty orders from those with which we deal in elementary particle theory (for example, the characteristic length for the hadron form factors is $\sim 10^{-14}$ cm, and the characteristic gravitational length is $r_g \sim \sqrt{\frac{\hbar \varkappa}{c^3}} \sim 10^{-32}$ cm), and therefore it would seem that the gravitation is of no importance in the elementary particles theory. We consider the problems stated by a model which is described with the appropriate solutions of the system of the Einstein–Maxwell field equations.

This model, more exactly, the system which under real conditions can really be formed by itself is of great interest. In what follows this system will be called friedmon.

1. TO THE THEORY OF THE FRIEDMON

As is known, the closed Friedmann world is described with the appropriate Tolman solutions in the case of a spherically symmetric homogeneous and isotropic distribution of dust-like matter at a zero pressure and an appropriate critical matter density [5]. If, however, this system is assumed to be charged by a uniform electric charge then the world metric ceases to be closed at any value of the total nonzero electric charge [7]. If the charge is such that the electrical forces are uncapable of overcoming the gravitational attraction then at a density larger than the critical one the metric of the so-called semiclosed world is formed instead of the closed metric.

In this system there arises a centre of symmetry and the surfaces circumscribed around this centre, at not too high electric charge, are approximately of the form

$$S = a^2 \sin^2 \chi, \quad \chi < \frac{\pi}{2}.$$

As in the case of the absence of the charge, when moving away from the centre ($\chi = 0$), the surfaces increase (when $\chi < \frac{\pi}{2}$) and with further moving away from the centre the

surfaces decrease. In the case of the absence of the charge the surface as $\chi = \pi$ reduces to a point; the world becomes closed.

If the system is electrically charged then for χ close to π (and a relativelly small charge) the metric essentially differs from the Friedmann one. Now the spherical surface does not reduce to a point but there arises a certain minimum sphere (throat) through which the metric of the material system is related to the Nordström–Reissner one. The parameters of this throat are obtained automatically when sewing the internal metric of the system with the external Nordström–Reissner one [7].

It is interesting that the electric potential in the throat is independent of the magnitude of the total electric charge of the system and is [7]

$$\varphi_h = \frac{c^2}{\sqrt{\varkappa}}, \tag{1}$$

where c is the velocity of light and $\varkappa$ is the gravitational constant. The matter is that with increasing distance when $\chi > \frac{\pi}{2}$, as we have mentioned earlier, the spherical surfaces decrease, they are a kind of lenses which crowd the electrical strengh lines. The value of the electric potential given by eq. (1), is obviously a maximum large one allowed by in the theory. With increasing charge the electric potential of the throat does not increase while the throat radius increases proportionally to the charge ε namely

$$r_h = \frac{\varepsilon\sqrt{\varkappa}}{c^2}. \tag{2}$$

The total mass of the system is given by the expression [7]

$$m = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\varkappa}}. \tag{3}$$

When $\varepsilon \to 0$, the total mass vanishes as it is the case in the closed Friedmann world. It is remarkable that the total mass of the system is in this case of electrostatic origin. In this case all the parameters r_h, m and ε are, generally speaking, of ultramacroscopic values – characteristics of the "Universe" as a whole.

Now attention should be paid to one very important fact. The sizes of the throat are stable only in the classical consideration. As soon as we take into account the fact, that in such large fields which take place in the throat there arise effects of production of charged particle pairs, the picture becomes essentially different. In fact, the particle of a produced pair with a charge opposite to that of the system strikes the system decreasing its charge. The other component of the pair pushes off from the charge of the system and goes to infinity. Thus, the total charge of the system decreases rapidly, the total mass decreases by eq. (3) and the external dimensions of the system, its throat, decrease by eq. (2). The system is striving to be close as completely as possible. The estimations show [7][1] that

[1] In which the production of only electron–positron pairs is taken into account.

this process of pair production decreases the total charge of the system down to the finite value

$$Z_f \leqslant \frac{1}{\alpha^2 \ln\left(\frac{e/\sqrt{\varkappa}}{m_e}\right)^2}, \tag{4}$$

here α is the fine structure constant, e is the electric charge of the electron. Since

$$\ln\left(\frac{e/\sqrt{\varkappa}}{m_e}\right)^2 \sim \frac{1}{\alpha}, \tag{5}$$

then $Z_f \sim 137$.

It is essential to stress the important fact that: a) the final charge Z_f of the system is independent of its initial charge; b) the final charge has the microscopic value

$$e_f \sim 137e, \tag{6}$$

c) the external sizes of the system are microscopic

$$r_f \leqslant \frac{137e\sqrt{\varkappa}}{c^2} \sim 10^{-30} \text{ cm} \tag{7}$$

and the total mass[2] is

$$m_f \leqslant \frac{137e}{\sqrt{\varkappa}} \sim 10^{-4} \text{ gr}. \tag{8}$$

The relations (6), (7) and (8) have the form of inequalities. These relations give the upper limits for the final charge and the mass. The real values of them are far lower. So, the electric charge localized in such a small domain must be strongly polarized. If we assume that the given case is associated with the well-known Landau formula which relates the "bare" charge ε with the effective charge e, up to which the former decreases due to the vacuum polarization, then [10]

$$e^2 = \frac{\varepsilon^2}{1 + \nu\varepsilon^2 \ln\left(\frac{\Lambda}{m_e}\right)^2}, \tag{9}$$

where m_e is the electron mass, ν is the number of various kinds of pairs, Λ is the maximum value of the parameter connected with the region of the charge localization.

[2] Nevertheless the system may contain an arbitrary large number of baryons ("Universe") and have arbitrary large "internal" dimensions, $a(t_0)\chi$, where $a(t_0)$ is the "Universe" radius.

When $\nu\varepsilon^2 \ln\left(\frac{\Lambda}{m_e}\right)^2 \gg 1$, eq.(9) takes the form

$$e^2 \to \frac{1}{\nu \ln\left(\frac{\Lambda}{m_e}\right)^2}. \tag{10}$$

It is interesting that the earlier obtained eq. (4) contains the same characteristic logarithm as in the Landau formula. But in eq.(4) one gives a concrete form of the parameter Λ, namely, it turns out that

$$\Lambda = \frac{e}{\sqrt{\varkappa}} \sim 10^{28}\ \text{eV}. \tag{11}$$

In eq. (4) Λ assumes just the value which is discussed in the Landau's paper in connection with the hypothesis on the possible role of gravitation in elementary particle theory. In our case the role of the parameter Λ is revealed in a natural manner, automatically. It is interesting that eqs. (4) and (9) are obtained starting from quite different considerations and in different mathematical ways.

According to eq.(10) the final value of the system charge is also independent of its initial value ε and may be close to the electron charge. We call such an object, such a system, friedmon.

As to the space dimensions of the system, eq. (7) gives essentially the classic "core" of the object round which a peculiar "atmosphere" consisting of various elementary particles should arise. The situation is that at $e_f \leqslant 137e$ when the particles of the pairs produced cease to "strike" the charged centre the appropriate charges occupy the appropriate orbits about the charged centre. The radii of the first Bohr orbit are estimated as

$$r \sim \frac{\hbar^2}{M e_f e}. \tag{12}$$

If the bound state has no stable particles heavier than nucleons the most dense "atmosphere" of the friedmon is at a distance 10^{-14}–10^{-13} cm from the object core. If this picture is true then between the lengths 10^{-30}–10^{-15} cm in the electrostatic friedmon there must be an empty space. Thus, we see that the external fiedmon dimensions must be of the order of the hadron dimensions.

As to the friedmon mass, the relation

$$m_f \leqslant \frac{e}{\sqrt{\varkappa}} \sim 10^{-6}\ \text{gr} \tag{12$'$}$$

gives only the upper estimate. Moreover, eq. (12) may be considered as a relation giving the corresponding upper estimate for the mass of the microscopic particle (in general, of elementary particle). If the microscopic particles of such a maximum mass exist ("maximons"), they could play the role of quarks. For these masses the gravitational forces acting between them are sufficient for forming systems with a mass defect comparable with the masses of these particles [6].

We have considered the system which is a source of the electric field. We have called this system electrostatic friedmon. But similar friedmons arise in any other vector fields.

So, the Yang–Mills [12] friedmon will have the mass

$$m_Y^f < \frac{\mu}{\sqrt{\varkappa}} \sim 10^{-5/2} M_\rho, \tag{13}$$

i.e. mass smaller than ten electronic masses if we take the possible upper estimate of μ from the Yang–Mills paper [11].

The estimation of the ρ-meson friedmon mass gives the upper value of the mass which is larger than that for the electrostatic friedmon:

$$m_\rho^f \leqslant \frac{g}{\sqrt{\varkappa}} \sim 10^{-5} \text{ gr}, \tag{14}$$

where g is the "charge" of the ρ-meson field.

Non-vector fields, more exactly the fields in which particles and antiparticles are not distinguished (e.g. the scalar field) do not prevent from the formation of the closed metric.

Moreover, combined fields, e.g. electromagnetic and scalar ones, decrease the total mass of the friedmon since the corresponding expressions for the friedmon mass are [1]

$$m_{e,s}^f \leqslant \sqrt{\frac{e^2 - G^2}{\varkappa}}, \tag{15}$$

where G is the scalar field constant.

Thus, in the framework of the general relativity theory systems with microscopic values of the parameters close to the parameters of the so-called elementary particles may be realized. But independently of the latter values, the given system, friedmon, may be considered as a peculiar model for "extended" particle as an object with a peculiar form factor possible only in the framework of the general relativity theory.

2. FRIEDMON AS THE DIVERGENCY – FREE PHENOMENOLOGICAL MODEL OF A PARTICLE

The external space metric of an electrical friedmon in the Nordström–Reissner coordinates is of the form:

$$ds^2 = \Phi dt^2 - \Phi^{-1} dr^2 - r^2 d\sigma^2, \tag{16}$$

here

$$\Phi = \left(1 - \frac{r_0}{r}\right)^2 \tag{17}$$

and

$$r_0 = \frac{\sqrt{\varkappa} e_0}{c^2} = \frac{\varkappa m_0}{c^2}. \tag{18}$$

Here m_0, e_0 are the total mass and the total electric charge of the system.

The metric assumes a very peculiar form in the isotropic coordinates

$$ds^2 = B^{-1}dt^2 - B(dR^2 + R^2 d\sigma^2), \tag{19}$$

here

$$B = \left(\frac{R + r_0}{R}\right)^2. \tag{20}$$

In the isotropic coordinates the equation for the electrostatic potential $\varphi = A_t$, $F_{tr} = -\frac{\partial A_t}{\partial R}$,

$$\frac{1}{\sqrt{-g}} \frac{\partial}{\partial x^i}\left(\sqrt{-g}\, \frac{\partial F^{ik}}{\partial x^k}\right) = 0 \tag{21}$$

assumes the form

$$-(R + r_0)^2 \frac{\partial \varphi}{\partial R} = \text{const} = e_0 \tag{22}$$

or

$$\varphi = \frac{e_0}{R + r_0}. \tag{23}$$

Thus, the potential at $R = 0$ is finite

$$\varphi_{R=0} = \frac{e_0}{r_0} = \frac{c^2}{\sqrt{\varkappa}}. \tag{24}$$

The calculation of the total energy in the general relativity theory encounters some difficulties; since the four-dimensional energy-momentum vector is not a well defined quantity. If we take the well – known Möller [9] definition, according to which the energy E in the isotropic coordinates is of the form

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{c^2}{8\pi\varkappa} \int_S hR^2 \sin\theta \, d\theta \, d\varphi, \tag{25}$$

as $R = \text{const} \to \infty$, here

$$h = -\frac{d\Phi}{dR}\frac{1}{\Phi} = \frac{2r_0}{R(R + r_0)},$$

then

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{c^2 r_0}{\varkappa} = \frac{e_0}{\sqrt{\varkappa}}, \tag{26}$$

in accordance with the above presented theory of friedmon.

It is essential to stress that in the isotropic coordinates the friedmon with metric (19) is a point object. In these coordinates when $R \to 0$ the components of the fundamental tensor $g_{\mu\nu}$ have a singularity, but this singularity does not affect the magnitude of the physical quantities – electric potential and total energy. The isotropic coordinates are convenient for the external description of the friedmon, in particular, its behaviour in the external fields as a point object. It is interesting to note that in the Nordström–Reissner coordinates (16), contrary to the isotropic coordinates (19) the friedmon is not a point one[3]. Here the potential is of the form $\varphi = \frac{e}{r}$, but r changes only from $r = \infty$ to $r = r_0 = \frac{e\sqrt{\varkappa}}{c^2}$ and at the point $r = r_0$ the potential assumes the value $\varphi_{r=r_0} = \frac{c^2}{\sqrt{\varkappa}}$, i.e. the same maximum value which is reached in the isotropic coordinates for $R = 0$.

I would like to stress that the object under consideration (friedmon) itself is a satisfactory in many respects model of the extended charged particle. Since, this extended object is described by the solutions of the relativistic equations with local interactions, then in this case, by definition, there cannot arise difficulties of the usual nonlocal theory, e.g. causality violation etc.

From a certain point of view, in describing a given "extended" object (friedmon) there arises a form factor, but due to an appropriate change of the metric the signal near the charge source propagates with a velocity smaller than the velocity of light. So, in the isotropic coordinates, according to eq. (19), the velocity of light is

$$\frac{dR}{dt} = \left(\frac{R}{R + r_0}\right)^2 c \tag{27}$$

and

$$\frac{dR}{dt} \to 0 \quad \text{as} \quad R \to 0.$$

Difficulties similar to those in the nonlocal field theory arise also in attempting to construct the appropriate nonlinear field theory free of divergences [3]. Attempts have been made to redefine formally the metric so that to obtain the corresponding velocity of the signal propagation according to the causality principle [2, 4]. One deals there with special illustrating examples, but, in general, in the framswork of the modern theory taken as hoc. The model in question (friedmon) is described completely in the framework of the modern theory. Moreover, it may be stressed that in the given case one implies nonlinear theory since a part of equations (namely, Einstein field equations) is a system of nonlinear equations. In principle, excluding $g_{\mu\nu}$ from the system of Einstein–Maxwell field equations we should obtain for the electromagnetic field a nonlinear equation.

In conclusion I would like to remind that there is another difficulty in attempting to treat the mass of the electric source field from a "purely electromagnetic" point of view. As is

[3] The possibility of the object to be point or extended in the general relativity depending on the coordinates used is indicated in ref. [8].

known, in this case the total momentum of the electromagnetic field of the charge moving with a constant velocity $\vec{v}$ is

$$\vec{\mathcal{P}} = \frac{4}{3}\frac{\vec{v}}{\sqrt{1-\beta^2}}\frac{u_0}{c}. \tag{28}$$

The factor $^4/_3$ appears owing to that in calculating the total momentum of the field of a moving charge, in addition to T_{44}^0 an additional term T_{11}^0 due to the Maxwell tensions gives a contribution. The factor $^4/_3$ was widely discussed a long time ago and was considered to be a main obstacle in constructing the electromagnetic theory of the particle mass. It was assumed that, in addition to the electromagnetic forces it is necessary to introduce forces of nonelectromagnetic origin (in the framework of linear theories) which should damp these Maxwell tensions. In the present model this role is played by gravitational forces.

It should also be stressed that in this consideration we are dealing with the classical electromagnetic field theory free of divergences. The corresponding quantum fields theory is not discussed yet.

REFERENCES

1. *Асанов Р.А., Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1967. Т. 5, вып. 11. С. 417.
2. *Блохинцев Д.И.* // Докл. АН СССР. 1956. Т. 68. С. 774.
3. *Блохинцев Д.И., Орлов В.* // ЖЭТФ. 1953. Т. 25. С. 503.
4. *Дао Вонг Дык, Нгуен Ван Хьеу* // ТМФ. 1970. Т. 2, № 1.
5. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля. М.: Наука, 1967. С. 434.
6. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1966. Т. 51. С. 878.
7. *Марков М.А., Фролов В.П.* // ТМФ. 1970. Т. 3, № 1. С. 3.
8. *Arnowitt R., Deser S., Minser C.* // Ann. Phys. 1965. Vol. 38. P. 88.
9. *Florides P.S.* // Proc. Cambridge Philos. Soc. 1962. Vol. 58. P. 102.
10. *Landau L.D.* Niels Bohr and development of physics / Ed. W. Pauli. L.: Pergamon press, 1955. P. 52.
11. *Lee T.D., Yang C.N.* // Phys. Rev. 1955. Vol. 98. P. 1501.
12. *Yang C.N., Mills R.L.* // Ibid. 1954. Vol. 96. P. 191.

О МИНИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРАХ ЧАСТИЦ В ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ*

ВВЕДЕНИЕ

Если в пренебрежении гравитационным полем, т.е. в евклидовой метрике, точечный объект является естественным образом элементарной частицы, то в общей теории относительности, если потребовать исчерпывающего пространственно-

* Теорет. и мат. физика. 1972. Т. 13, № 1, С. 41–60. Соавтор *В.П. Фролов*

временно́го описания[1], автоматически оказывается таким естественным образом объект протяженный.

В классической теории поля мы бездумно переходим от протяженного к δ-образному распределению массы и заряда частицы. В общей теории относительности этот процесс стягивания пространственного распределения массы к точечному связан с радикальным изменением метрики. Более того, это изменение метрики, как будет видно из дальнейшего, не допускает точечного предела в размерах частиц. Вернее, в *допустимых* координатах, т.е. в координатах, дающих исчерпывающее пространственно-временно́е описание системы, объект остается протяженным. В тех же координатах, в которых достигается точечность объекта [10], его пространственно-временно́е описание оказывается неполным, и подобные координаты для полного описания недопустимы.

Вначале мы рассмотрим электрически нейтральную частицу (метрику Шварцшильда–Крускала), а затем случай электрически заряженных частиц. В связи с этим целесообразно обсудить известные попытки учесть гравитационные взаимодействия в квантовой теории элементарных частиц с сохранением (в противоречии с общей теорией относительности) точечности последних.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИ НЕЙТРАЛЬНАЯ ЧАСТИЦА (метрика Крускала–Шварцшильда)

Метрика Шварцшильда описывает геометрию, возникающую в пустоте вне гравитирующей материи, которая локализована в какой-то области центрально-симметричным образом.

Выражение для четырехмерного интервала в поле Шварцшильда имеет вид

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2\varkappa M}{c^2 r}\right)c^2 dt^2 - \left(1 - \frac{2\varkappa M}{c^2 r}\right)^{-1} dr^2 - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2), \quad (1)$$

где M – полная гравитационная масса материальной системы ($M = E/c^2$, E – полная энергия системы), $\varkappa$ – гравитационная константа.

На сфере $r_g = 2\varkappa M / c^2$ (r_g – так называемый гравитационный радиус) тензор $g_{\mu\nu}$ имеет особенность. При $r = r_g$ g_{00} и g_{11} меняют знак. Эти свойства метрики не сразу правильно интерпретировались. Постепенно выяснилось, что особенность, о которой идет речь, в известном смысле ложная[2].

Обсуждаемые особенности формы (1) связаны с *неудачным* выбором координат. Эти координаты пригодны лишь для описания ситуации при $r > r_g$. Другими словами, координаты Шварцшильда не дают полного описания метрики.

---

[1] Имеется в виду полное пространственно-временно́е описание в духе Крускала [16] и физическая интерпретация метрики Крускала согласно Новикову [4–6].

[2] Например, инвариант, характеризующий кривизну четырехмерного пространства

$$I = R_{iklm}R^{iklm} = 12 r_g^2 / r^6,$$

не имеет особенности при $r = r_g$. В данной метрике имеется лишь одна истинная особенность при $r = 0$.

Более полное пространственно-временнóе описание обсуждаемого случая относительно недавно было дано Крускалом [4–6]. Оказывается, что полное пространственно-временнóе описание в данном случае дается квадратичной формой с $g_{\mu\nu}$, зависящими не только от координат, но и от времени. Другими словами, метрика оказывается существенно нестатической:

$$ds^2 = d\tau^2 - e^{\lambda(R,\tau)}dR^2 - r^2(R,\tau)(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2). \qquad (2)$$

Мы приведем вариант подобной метрики, предложенный И.Д. Новиковым [2].

Напомним решение Толмена [2] для центрально-симметричного распределения материи при отсутствии давления. Это решение характеризуется величинами

$$e^{\lambda} = \frac{r'^2}{1+f(R)}, \quad \dot{r} = f(R) + \frac{F(R)}{r}, \quad \frac{8\pi\varkappa\rho}{c^2} = \frac{F'(R)}{r'r^2}, \qquad (3)$$

где штрих означает дифференцирование по R, а точка – дифференцирование по τ. Две произвольные функции F и f связаны с произволом в распределении радиальных скоростей и плотностей вещества. Дальнейшее интегрирование дает (при $f < 0$)

$$t_0(R) - \tau = \frac{1}{f}\sqrt{fr^2 + Fr} + F(-f)^{-3/2}\arcsin\sqrt{-\frac{fr}{F}}. \qquad (4)$$

Для случая финитных движений частиц вещества ($f < 0$) зависимости, определяемые уравнением (4), могут быть записаны и в параметрическом виде [2]:

$$r = -F(1-\cos\eta)/2f,$$

$$\tau_0 - \tau = \frac{1}{2}F(-f)^{-3/2}(\eta - \sin\eta), \qquad (5)$$

где η меняется от 0 до 2π. Из общего решения (3) следует, что в вакууме

$$F = F_0 = \text{const}.$$

Положим

$$F = r_g, \quad f = -[(R/r_g)^2 + 1]^{-1},$$

$$\tau_0 = \frac{1}{2}\pi[(R/r_g)^2 + 1]^{3/2}. \qquad (6)$$

Следовательно,

$$r/r_g = \frac{1}{2}[(R/r_g)^2 + 1](1-\cos\eta),$$

$$r/r_g = \frac{1}{2}[(R/r_g)^2 + 1]^{3/2} \times (\pi - \eta + \sin\eta). \qquad (7)$$

Начальные условия выбраны таким образом, что при $\tau = 0$ $\dot{r} = 0$ во всем пространстве.

Рис. 1

Описываемая система отсчета реализуется свободными пробными частицами. Пространство–время в этих координатах изображено на рис. 1 (*1–3* – мировые линии частиц). В момент, определяемый из уравнения (4), частица находится на кривой $r = 0$ в нижней половине рис. 1 при отрицательных τ (точка C'). Мировая линия частицы идет от кривой $r = 0$ к кривой $r = r_g$ (линия BB'). Далее частица выходит за гравитационный радиус: система продолжает расширяться. В момент $\tau = 0$ r принимает максимальное значение r_{max}:

$$r_{max} = r_g\left[\left(\frac{R}{r_g}\right)^2 + 1\right]. \qquad (8)$$

Это момент максимального удаления частицы от положения $r = 0$. Затем частица снова падает к гравитационной сфере Шварцшильда и при положительных значениях τ, определяемых уравнением (4), снова достигает истинной особенности ($r = 0$) (точка C).

Метрикой Шварцшильда (1) описывается лишь область справа от линии $A'OB$ (или слева от линии AOB'), т.е. область вне сферы Шварцшильда. В этом смысле

метрика Крускала дает полное описание, мировая линия частицы может начинаться или кончаться только в истинной особенности ($r = 0$) или на пространственной бесконечности. В этой метрике в отличие от координат Шварцшильда не исключается область между $r = 0$ и $r = r_g$.

Обращает на себя внимание наличие двух R-областей на рис. 1. В данной системе координат возникают два пространства (R_1) и (R_2), евклидовые на бесконечности, которые соединены между собой узкой горловиной (при $R = 0$). Радиус горловинной сферы

$$r_h = \frac{1}{2} r_g (1 - \cos\eta) \tag{9}$$

меняется со временем от $r_h = r_g$ при $\eta = \pi$ до $r_h = 0$ при $\eta = 0$. Эта своеобразная черта метрики Крускала являлась объектом различных спекуляций. Следует подчеркнуть, что вторая R-область, евклидовая на бесконечности, возникла в метрике Крускала лишь в результате некритического обращения с понятием точечности объекта в общей теории относительности.

Как, по-видимому, впервые отметил И.Д. Новиков [4–6], в реальном случае при наличии протяженного источника гравитационного поля следует внешнюю метрику Крускала (в вакууме) сшивать с внутренней метрикой, описывающей область, занятую веществом. Это естественное и необходимое требование радикально меняет ситуацию во втором R_2-пространстве – в этой реальной обстановке второго пространства, евклидового на бесконечности, просто не существует. От него остается лишь небольшая область, недоступная во времени до наблюдателя, локализованного в области R_1.

Если речь идет о системе, которая имеет размеры граничной сферы $r_0 < r_g$, то такая система по своему характеру не может быть статической (по терминологии И.Д. Новикова граница находится в T-области) [2, 8, 13]. Если эта система реализуется нейтральной пылевидной материей, распределенной однородно и изотропно, то метрика в области, занятой веществом, является метрикой части мира Фридмана, находящегося или в стадии расширения, или в стадии сжатия. В момент остановки размер граничной сферы r_0 всегда больше гравитационного радиуса $r_0 > r_g$ (т.е. находится в R-области). Полная ("шварцшильдовская") масса M такой системы выражается через внутренние параметры следующим образом:

$$M = \frac{4}{3}\pi a_{\max}^3 \rho \sin^3\chi_0 = \frac{c^2}{2\varkappa} a_{\max} \sin^3\chi_0 = \frac{c^2 r_0^3}{2\varkappa a_{\max}^2}, \tag{10}$$

где ρ – плотность вещества в момент максимального расширения, $a_{\max}$ – наибольший радиус кривизны мира Фридмана, $l_0 = a_{\max}\chi_0$ – внутренний размер части мира Фридмана в момент максимального расширения.

Если $l_0 > \pi a_{\max}/2$, то такую систему называют "полузамкнутым миром" [4–6]. Полная пространственно-временна́я картина для этого случая, согласно И.Д. Новикову, дается теперь на рис. 2 (линия A–A – мировая линия точки поверхности полузамкнутого мира; левее A–A – пространство–время внутри вещества; правее –

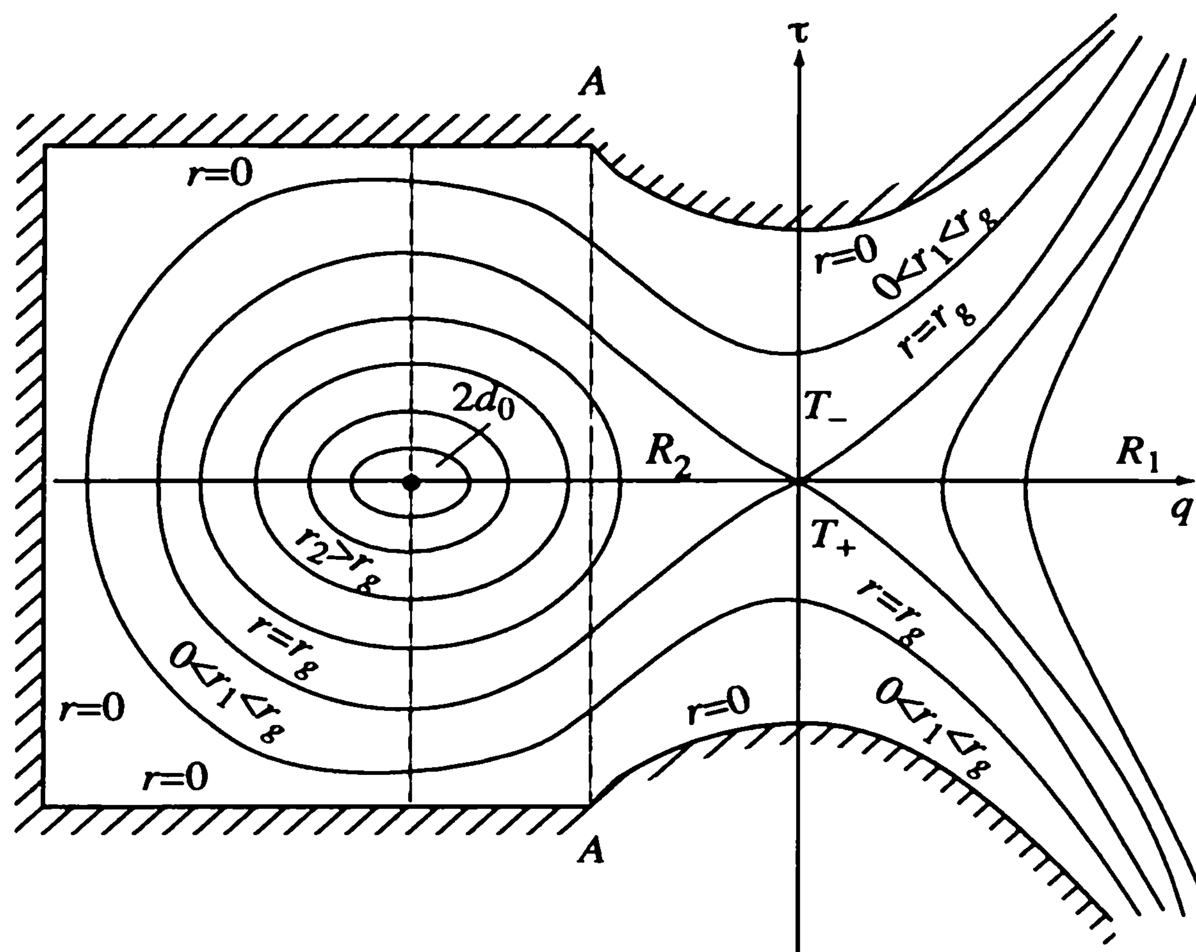


Рис. 2

пространство–время в пустоте). Для шварцшильдовского наблюдателя, расположенного в области R_1, область R_2 ненаблюдаема, так как движение сигнала до гравитационного радиуса требует бесконечно большого времени. Он, однако, может получать информацию о ранних стадиях развития (из области T_+). Внешний наблюдатель будет видеть граничную сферу вещества полузамкнутого мира, расширяющуюся от $r = 0$ и асимптотически приближающуюся к гравитационному радиусу. Для случая $l_0 < \frac{1}{2}\pi a_{\max}$ он увидит и выход из-под гравитационного радиуса, последующее расширение до r_0 – момента остановки – и дальнейшее асимптотическое стремление к $r = r_g$. Однако если только $M \neq 0$, то объект не может быть точечным, он всегда обладает внутренними размерами ($l_0 \neq 0, r_0 \neq 0$) и воспринимается внешним наблюдателем как протяженный.

Если же размеры системы в момент покоя вещества попытаться устремить к нулю (именно это называют точечным объектом в обычной теории), то при данном количестве вещества (числе атомов) увеличивается плотность вещества, увеличивается гравитационный дефект масс. Полная масса уменьшается до нуля. Область, занятая веществом, приобретает метрику закрытого мира Фридмана. Для наблюдателя в области R_1 объект исчезает: при точечных внешних размерах он имеет нулевую полную массу. Другими словами, в этом смысле точечного объекта электрически нейтральной массы не существует[3].

---

[3] Легко видеть, что справедливо неравенство $l_0 = a_{\max}\chi_0 \geqslant 2M_0\varkappa/3c^2$, где M_0 – внутренняя масса. Поэтому внутренний размер l_0 при фиксированной внутренней массе ограничен снизу и не может быть стянут к 0. Если же мы будем стремить к нулю r_0, то, как видно из (10), $M \to 0$, при этом $r_g \to 0$, $\chi_0 \to \pi$, и мир распадается на плоское пространство и замкнутый мир Фридмана.

СЛУЧАЙ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ

Рассматривая вопрос о минимальных размерах заряженной системы, мы исходим из некого пространственного центрально-симметричного распределения массы и электрического заряда частицы по некоторой области до границы $r = r_0$. При этом в области $r > r_0$ расположено пространство, лишенное массы и заряда, т.е. пустота. При $r > r_0$ справедлива метрика Нордстрема–Рейсснера. В соответствии с заданным распределением массы и заряда мы должны найти внутреннее решение, сшить его с соблюдением известных условий непрерывности на границе с известным нам внешним решением, а затем размеры области, занятой зарядом и массой, устремить к нулю ($r_0 \to 0$). При такой процедуре мы неизбежно сталкиваемся с двумя обстоятельствами.

1. *При стремлении* $r_0 \to 0$ *плотность материи становится больше критической, т.е. больше той, при которой электрически нейтральная система данных размеров может уже характеризоваться закрытой метрикой.*

2. *При* $r_0 < r_g$ *метрика не может быть статической, так как в статическом случае, как известно, нельзя материю локализовать в области* $r < r_g$.

Мы снова должны констатировать, что, пытаясь перенести теорию точечной частицы в область теории относительности, мы вынуждены применить аппарат космологических теорий для описания рассматриваемых объектов, даже точнее – аппарат космологических теорий с заведомо нестатической метрикой. Выбирая для простоты модель пылевидной заряженной материи, мы возвращаемся к задаче, рассмотренной нами в [3]. Можно теперь воспользоваться результатами этой работы. Нас интересуют минимальные размеры, в которые можно уместить массу и заряд рассматриваемой частицы. Но согласно [3] оказывается, что минимальные размеры, в которые можно заключить частицу с зарядом e_0, определяются

$$r_h = e\sqrt{\varkappa}/c^2.$$

Внешнее решение нордстрем-рейсснеровского типа в этом случае определяется метрикой

$$ds^2 = \Phi(r)dt^2 - \Phi^{-1}(r)dr^2 - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2),$$

$$\Phi(r) = \left(1 - \frac{\sqrt{\varkappa}e}{c^2 r}\right)^2 \equiv \left(1 - \frac{r_h}{r}\right)^2 \equiv 1 - \frac{2\varkappa m_0}{c^2 r} + \frac{\varkappa e^2}{c^4 r^2}, \quad m_0 = \frac{e}{\sqrt{\varkappa}}. \qquad (11)$$

Через горловину радиуса r_h внешнее решение переходит при $r = r_0$ во внутреннее решение фридмановского типа, деформированное присутствием электрического заряда. В рассматриваемом случае горловина не меняет своего радиуса со временем. Для внешнего наблюдателя заряд частицы, ее материя локализованы в сфере радиуса r_h. Так как метрика внутреннего решения неевклидова (пространство, занятое веществом), нестатична, то, вообще говоря, сферы, рассматриваемые в области распределения вещества, могут в отдельные моменты времени иметь как угодно большой радиус, но внешняя сфера, охватывающая всю систему,

все распределение вещества, представляющее частицу, – это наименьшая сфера (горловина) радиуса r_h.

Другими словами, для внешнего наблюдателя электрический заряд распределяется по сфере радиуса r_h, и не имеется возможности сконцентрировать его в меньшей области[4].

Правда, в литературе иногда приводится модель электрически заряженной частицы, которая при учете гравитационных взаимодействий как будто допускает возможность точечной локализации заряда частицы. Речь идет о модели Папапетру. Интересно, что внешнее решение, описывающее модель Папапетру, дается той же метрикой (11) с $\Phi = (1 - r_h/r)^2$, что и в рассматриваемом выше случае. Любопытно, что здесь имеет место то же характерное соотношение между массой и зарядом частицы $m = e/\sqrt{\varkappa}$. Но физическое содержание этих случаев поразительно различно. Рассмотрим модель Папапетру внимательнее с общей точки зрения, изложенной при описании метрики фридмона [3].

МОДЕЛЬ ПАПАПЕТРУ

Как показано в [3], в случае нордстрем-рейсснеровского решения, характеризуемого равенством $\sqrt{\varkappa}m = e$, геометрия может быть двух видов. Одна из них – геометрия типа "кротовой норы", по терминологии Дж. Уилера, – это геометрия с минимальной горловинной сферой, характерной для полной геометрии полузамкнутого мира. Второй случай характеризуется геометрией с монотонным изменением r, т.е. отсутствием горловины ("кротовой норы"), – это статическая модель заряженной пыли с $\beta = \rho/\sqrt{\varkappa\varepsilon} = 1$. Эта модель и является моделью Папапетру. Следует подчеркнуть, что метрика внешнего пространства в обоих случаях одна и та же (11), но структура внутреннего пространства совершенно различна.

---

[4] Мы не рассматриваем случай $m_0 > e/\sqrt{\varkappa}$, т.е. случай, когда не вся масса частицы электростатического происхождения. С полевой точки зрения это значило бы усложнять задачу, вводить другие, неэлектромагнитные поля, порождающие излишек массы. Если же задачу рассматривать формально, то в этом случае горловина нестатична, радиус ее меняется со временем между двумя значениями

$$r_{\pm} = \frac{\varkappa m_0}{c^2} \pm \left(\frac{\varkappa^2 m_0^2}{c^4} - \frac{\varkappa e^2}{c^4} \right)^{1/2},$$

хотя и здесь по-прежнему минимальная сфера не может обладать нулевым радиусом. Система в отдельные моменты времени обладает размерами, большими, чем

$$r_h = e\sqrt{\varkappa}/c^2.$$

Строго говоря, внешний наблюдатель будет видеть ранние этапы развития заряженного полузамкнутого мира, но по прошествии достаточно большого времени граничная сфера застывает для него у гравитационного радиуса.

В случае $e/\sqrt{\varkappa} > m_0$ устойчивая система невозможна, так как силы гравитационного притяжения меньше сил электрического отталкивания.

Модель Папапетру имеет наглядное классическое истолкование для случая, когда электростатическое отталкивание заряженных пылинок уравновешивается гравитационным притяжением[5]:

$$\frac{\varkappa m^2}{r} = \frac{e^2}{r}, \text{ откуда } e = \sqrt{\varkappa m}. \tag{12}$$

Когда-то в качестве модели электрически заряженной частицы обсуждалась модель Папапетру, лишенная известных трудностей с расходимостями. Так как из условия (12) выпадает расстояние, то считалось, что данная модель может описывать точечную заряженную частицу [11, 17]. Однако более детальный анализ показывает, что подобное заключение в общей теории относительности и в данном случае ошибочно. Действительно, внешнее решение в пустоте должно быть сшито с внутренним решением в области, занятой материей, при характерном отношении плотности заряда к плотности массы $\beta = \rho / \sqrt{\varkappa\varepsilon} = 1$. Так как

$$M(q) = \frac{1}{c^2}\int_0^q C(q)dq, \tag{13}$$

другими словами, $c^2 M'(q) = C(q)$, или, иначе, $C(q) = c^2 |e|' / \sqrt{\varkappa}$, то уравнение (начальные условия) [3] перепишется в виде[6]

$$1 - \frac{(r'^2 r)'}{r'} = 2\gamma' + \frac{\gamma^2}{r^2}, \quad \gamma = \frac{\sqrt{\varkappa}\,|e|}{c^2} \tag{14}$$

или

$$1 - 2r''r - r'^2 = 2\gamma' + \frac{\gamma^2}{r}. \tag{15}$$

Ищем решение (15) в виде $r' = \alpha + (\beta\gamma / r)$, где α и β – постоянные. Находим $\beta = -1$, $\alpha^2 = 1$, $r' = \pm 1 - \gamma / r$. Из условия евклидовости в центре $r'(q = 0) = 1$ при конечной плотности заряда следует

$$r' = 1 - \frac{\gamma}{r}. \tag{16}$$

В метрике полузамкнутого мира [3] имеется горловина, т.е. область, где $r(q)$ имеет минимум[7]. Случай Папапетру отличается от случая полузамкнутой метрики

---

[5] Если в случае фридмона голая масса системы может быть как угодно больше полной (шварцшильдовской) массы, то в случае статической модели Папапетру голая масса в точности равна полной массе.

[6] Формулы (13) и (14) взяты из [3]. Уравнение (14) представляет собой запись одного из уравнений Эйнштейна ($G_0^0 = 8\pi\varkappa T_0^0 / c^4$) в момент максимального расширения материальной системы (начальные условия).

[7] От граничной поверхности, отделяющей материю от пустоты, r по направлению к горловине уменьшается ($r'(q) < 0$), а после горловины r снова возрастает и теперь до евклидовой бесконечности.

монотонным изменением $r(q)$. Нас интересует модель частицы с евклидовой метрикой на бесконечности, т.е. случай, когда r вдали от частицы монотонно возрастает, $r' > 0$, но при отсутствии горловины $r' > 0$ должно иметь место и в точке сшивания, при $r(q_0) : r'(q_0) > 0$. Но условие

$$r'(q_0) = 1 - \frac{\gamma_0}{r_0} > 0 \tag{17}$$

влечет за собой условие

$$r_0 > \gamma_0 = \frac{\varkappa m}{c^2}. \tag{18}$$

Условие (17) означает, что радиус r_0 области, занимаемой веществом, всегда больше γ_0.

Как мы видим, радиус занимаемой веществом сферы нельзя сделать и в этой модели меньшим, чем $r_g = \sqrt{\varkappa} m / c^2$. Поэтому утверждение, что модель Папапетру пригодна для описания точечной частицы, оказывается несправедливым.

Случай Папапетру – предельный случай, когда осуществляется неустойчивое равновесие между электростатическими и гравитационными силами. Это равновесие может быть нарушено как угодно малыми начальными скоростями. При увеличении массы пылинок и сохранении соотношения $\sqrt{\varkappa}\varepsilon = \rho$ условия образования полузамкнутой метрики не возникают, даже если плотность вещества достигает значений, больших критических. В этих случаях с ростом полной массы только увеличиваются размеры системы.

Мы ставили себе целью показать, что граничная сфера ($r = r_0$), отделяющая вещество от пустоты в модели Папапетру, лежит вне, а не внутри сферы Шварцшильда ($r_0 > \gamma_0$). Это следует из:

1) требования монотонности $r(q)$;

2) требования евклидовости метрики на бесконечности.

При попытке построить модель Папапетру, в которой вещество находилось бы внутри сферы Шварцшильда ($r_0 < \gamma_0$), мы на основании (16) получаем $r' = 1 - (\gamma_0 / r_0) < 0$. Условие монотонности (отсутствие горловины) сохраняет $r' < 0$ и на бесконечности ($r \to \infty$), где, с другой стороны, требование евклидовости[8] налагает условие $r' > 0$.

В [10] в более широком плане, чем у Эйнштейна [8, 13], обсуждается тот же вопрос о минимальных размерах материальных систем. Авторами обращено внимание на то обстоятельство, что в некоторых координатах обсуждаемые пространственные распределения массы и заряда не стягиваются в объекты точечных размеров. В статье подчеркивается и другое, противоположное предыдущему обстоятельство, а именно, что существуют такие координаты, в которых объект может рассматриваться как точечный.

---

[8] Вернее, требование монотонного роста.

По ряду причин последняя возможность представляется авторам очень привлекательной. Действительно, такая ситуация возникает в случае описания *внешнего* решения в изотропных координатах. В изотропных координатах нордстрем-рейсснеровский интервал записывается в виде

$$ds^2 = B(R)d\tau^2 - A(R)[dR^2 + R^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)],$$

$$B(R) = \left(1 - \frac{m^2 - m_0^2}{4R^2}\right)^2 \left(1 + \frac{m}{R} + \frac{m^2 - m_0^2}{4R^2}\right)^{-2},$$

$$A(R) = \left(1 + \frac{m}{R} + \frac{m^2 - m_0^2}{4R^2}\right)^2. \tag{19}$$

Связь между изотропными (R) и шварцшильдовскими (r) координатами задается посредством

$$r = R + m + \frac{m^2 - m_0^2}{4R}, \quad m_0 = \frac{\sqrt{\varkappa} e}{c^2}, \quad m = \frac{\varkappa M}{c^2} = r_h. \tag{20}$$

В случае $m^2 = m_0^2$ $r = R + m$.

Точечному объекту $R = 0$ в системе R (в изотропных координатах) соответствует протяженный объект $r_h = m_0 = \sqrt{\varkappa} e / c^2$ в шварцшильдовской системе. Теперь метрика в пустом пространстве (19) приводит для A к выражению

$$B^{-1}(R) = A(R) = (1 + r_h / R)^2. \tag{21}$$

Электростатическое центрально-симметричное поле вне источника описывается уравнением Максвелла

$$F^{\mu\nu}_{,\nu} = 0, \tag{22}$$

где

$$F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu, \quad A_\mu = \delta_{\mu 0}\varphi(R). \tag{23}$$

В изотропных координатах

$$g_{00} = B, \quad g_{11} = -A, \quad g_{22} = -AR^2, \quad g_{33} = -AR^2 \sin^2\theta.$$

Первое интегрирование уравнения (22) дает при $\nu = 0$

$$(R + r_h)^2 \frac{\partial\varphi}{\partial r} = -e$$

или

$$\varphi = \frac{e}{R + r_h}. \tag{24}$$

В нуле ($R = 0$) потенциал конечен:

$$\varphi(R=0) = e / r_h = c^2 / \sqrt{\varkappa}. \tag{25}$$

Таким образом, естественно возникает теория точечного заряда, в то же время лишенная известных трудностей с расходимостями при $R = 0$.

С другой стороны, внешняя метрика фридмона в координатах Нордстрема–Рейсснера записывается в виде (11), соответствующее уравнение для потенциала в этих координатах приводит к выражению

$$\varphi(r) = e / r. \tag{26}$$

Но из теории фридмонов мы знаем, что максимальное значение потенциала для внешнего наблюдателя равно тому же выражению (25) (при этом внешнее решение справедливо только от $r = \infty$ до $r = r_h$), что это внешнее решение сшивается в области R_2 с внутренним решением, которое, вообще говоря, может описывать богатейшее разнообразие вселенных.

В изотропных координатах описание заканчивается значением $R = 0$, которое в координатах (будем условно называть) Шварцшильда соответствует только $r = r_h$. В изотропных координатах невозможно описание внутренней структуры объекта[9]. Сравнение описания, даваемого изотропными координатами, с описаниями в других координатах показывает, что в изотропных координатах возможно лишь описание части полного пространства системы.

Мы видим, таким образом, что изотропные координаты дают, в сущности, ложное представление о точечности объекта ($R = 0$). Мы уже упоминали о том, что в работе [10] подчеркивалось преимущество описания электрически заряженной частицы в изотропных координатах, которое усматривалось в том, что частица в этих координатах оказывается точечной, в то время как необходимость приписывать частицам определенные размеры в других системах координат рассматривалась авторами как существенный недостаток, связанный с необходимостью строить теорию нелокальных взаимодействий, что сопряжено с известными трудностями. Действительно, известно, что введение размеров элементарных частиц в евклидовом пространстве противоречит принципу причинности: сигнал вблизи частицы распространяется со скоростью, превышающей скорость света.

Однако здесь мы должны заметить, что протяженным частицам, естественным образом возникающим в общей теории относительности (фридмонам), не сопутствуют указанные выше трудности. В общей теории относительности благодаря неевклидовой метрике сигнал вблизи частицы (фридмона) замедляется и распространяется с точки зрения внешнего наблюдателя со скоростью, меньшей скорости света в пустоте. Так, в изотропных координатах, согласно формуле (19), скорость света

$$c_\gamma = \left(\frac{dR}{dt}\right)_{ds^2=0} = \frac{cR^2}{(R + r_h)^2} \tag{27}$$

[9] Оно должно даваться метрикой типа Крускала, т.е. нестатической метрикой в интерпретации, данной И.Д. Новиковым [4–6].

и

$$c_\gamma \to 0 \quad \text{при} \quad R \to 0. \tag{28}$$

В других координатах, где объект остается протяженным, подобная ситуация (стремление к нулю скорости сигнала) возникает при приближении сигнала к гравитационному радиусу. В этих случаях, когда речь идет о протяженном объекте типа фридмона, об описании как его внутренних, так и внешних областей, a priori не могут возникнуть противоречия с принципом причинности или какие-либо другие трудности, так как фридмон представляет собой образование, возникающее в рамках локальной теории. Фридмонное решение – это одно из решений системы локальных уравнений Эйнштейна–Максвелла.

ТЕОРИЯ ПСЕВДОТОЧЕЧНОЙ ЧАСТИЦЫ

Хотя фридмон как объект с почти закрытой метрикой является естественной моделью протяженной частицы в общей теории относительности, a priori свободной от трудностей нелокальных теорий в евклидовом пространстве, построение последовательной теории взаимодействия, например, электростатического фридмона с внешним электромагнитным полем не является простым делом. С этой точки зрения целесообразно детальнее обсудить фридмонную метрику в системах координат, в которых фридмон допускает точечную интерпретацию. С изложенной выше точки зрения в таких координатах, именно в изотропных координатах, дается лишь описание внешней метрики фридмона.

Мы убедились выше, что подобное описание является неполным описанием объекта, оно игнорирует, вообще говоря, возможное богатейшее содержание внутренних областей. Но, как мы увидим из дальнейшего, не лишено интереса исследование того, что могут дать для теории элементарных частиц сведения о внешней метрике частицы, в какой мере описание, например, электростатического фридмона в изотропной системе координат способно представлять собой теорию частицы. определять ее параметры и возможную динамику[10], каковы пределы применимости такой теории. Подобную модель частицы будем в дальнейшем называть псевдоточечной моделью.

КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

Прежде всего напомним, что уравнения Максвелла в статическом гравитационном поле, т.е. в неевклидовой метрике, могут быть формально интерпретированы как уравнения Максвелла в евклидовом пространстве, но заполненном некой материальной средой с диэлектрической (ε) и магнитной (μ) проницаемостями, зависящими от $g_{\mu\nu}$. В геометрической оптике распространение луча света

[10] Как мы видели, при разнообразии внутренних областей фридмонов идентичность их внешних параметров поразительна. Все электростатические фридмоны образуют ансамбль тождественных частиц. Динамическое поведение во внешних полях всех фридмонов, казалось бы, должно быть идентичным.

соответственно интерпретируется как движение в оптической среде с некоторым показателем преломления $n = n(g_{\mu\nu})$ [2].

Действительно, в случае статической метрики

$$ds^2 = g_{00}dx^{0^2} + g_{ij}dx^i dx^i, \quad \partial_0 g_{\mu\nu} = 0,$$

траектория луча света в трехмерном пространстве определяется из условия

$$\delta \int \sqrt{\frac{g_{ij}}{g_{00}} dx^i dx^j} = 0. \tag{29}$$

В случае метрики $g_{ij}dx^i dx^j = A dl_0^2$, где dl_0 – элемент длины в евклидовом пространстве, условие (29) перепишется в виде

$$\delta \int \sqrt{\frac{A}{g_{00}}} dl_0 = 0. \tag{30}$$

Условие (30) формулирует принцип Ферма для распространения луча света в среде с показателем преломления

$$n = \sqrt{A / g_{00}}, \tag{31}$$

или при наших конкретных значениях A и g_{00}

$$n = (1 + r_h / R)^2. \tag{32}$$

Вычислим теперь энергию электростатического поля, соответствующую описываемой в изотропных координатах части полного пространства. Плотность энергии [2]

$$T_0^0 = w = -\frac{1}{8\pi} F_{01} F^{01}, \tag{33}$$

где

$$F_{01} = -\partial_1 \varphi = \frac{e}{(R + r_h)^2}. \tag{34}$$

Полная энергия

$$E = \int T_0^0 \sqrt{-g} d^3 x = \frac{e^2}{2} \int_0^\infty \frac{dR}{(R + r_h)^2} = \frac{e^2}{2r_h} = \frac{ec^2}{2\sqrt{x}}, \tag{35}$$

или

$$E = \frac{1}{2} m_0 c^2. \tag{36}$$

Таким образом, поле точечной частицы в изотропных координатах дает для ее полной массы значение $m_0/2$ вместо ожидаемого значения m_0.

Физический смысл этого результата заключается в том, что мы в данном вычислении учли только электростатическую энергию частицы и не учитывали гравитационную энергию. Если бы мы рассматривали задачу последовательно в рамках общей теории относительности, то мы должны были бы добавить интеграл от t_{00} – псевдотензора гравитационной энергии. Эти вычисления с той же метрикой были выполнены Папапетру [17], и им была получена полная энергия, как раз равная удвоенной электростатической.

Другими словами, в данном классическом случае *электростатической модели частицы* половина ее собственной массы заключена в электростатическом поле и половина – в поле гравитационном, возникшем от этого электростатического поля. К этому результату следует вернуться при обсуждении вычислений собственной электростатической энергии электрона в теории Дирака.

Как мы убедились ранее, "псевдоточечный" вариант частицы с точки зрения классических представлений не является последовательным. Но, с другой стороны, мы можем, порывая с последовательностью перехода от понятия точечности в евклидовом пространстве к соответствующей формулировке общей теории относительности, принять соответствующее уравнение как данное в евклидовом пространстве вне какой-либо связи с общей теорией относительности. В некотором смысле мы просто формально вводим своеобразный формфактор, ведущий к значению потенциала (24). Появление этого формфактора можно и не связывать с гравитационным полем, его можно рассматривать как следствие приписываемых вакууму своеобразных свойств диэлектрика. В этом случае следует различать свободные (голые, затравочные) заряды и эффективные, наблюдаемые.

Теперь в рамках излагаемых представлений голый заряд действительно сосредоточен в точке, а распределение наблюдаемого заряда определяется формулой

$$\rho = -\frac{1}{4\pi}\operatorname{div}\mathbf{E}. \tag{37}$$

В нашем случае

$$\rho = -\frac{1}{4\pi R^2}\frac{d}{dR}\left(R^2\frac{d\varphi}{dR}\right), \tag{38}$$

зная, кроме того, что $\varphi = e/(R + r_h)$, можно ввести функцию f

$$\varphi(R) = \frac{ef(R)}{R}, \quad f = \left(1 + \frac{r_h}{R}\right)^{-1} \tag{39}$$

такую, что $-ef'(R)/4\pi R$ представляет собой объемную плотность эффективного заряда.

Соответствующий формфактор в импульсном представлении $C(k)$ запишется в виде

$$C(k) = \int \rho(\mathbf{R})e^{i\mathbf{kR}}d^3x = \int_0^\infty f'(R)\cos kR dR. \tag{40}$$

Подставляя в этот интеграл $f'(R) = e/(R + r_h)^2$, можно найти

$$C(k) = 1 - kr_h[\mathrm{ci}\,(kr_h)\sin(kr_h) - \cos(kr_h)\,\mathrm{si}\,(kr_h)]. \quad (41)$$

Логарифмически расходящееся выражение для собственной энергии электрона Дирака при использовании данного формфактора принимает вид[11]

$$\Delta m \sim \frac{3m_0\alpha}{2\pi}\ln\frac{e}{\sqrt{\varkappa}m_0},$$

т.е. $\Delta m \sim m_0$ – электромагнитная масса электрона – с точностью до порядка равна экспериментальной электронной массе. Однако, согласно предыдущему, здесь не учитывается гравитационная масса данного электростатического поля.

Здесь желательно подчеркнуть, что введение формфактора в евклидовом пространстве с помощью гипотезы о диэлектрических свойствах вакуума не ведет к сигналам, распространяющимся со скоростью, большей скорости света, что такой способ введения формфактора не нарушает принципа причинности и в малом. По-видимому, введение формфактора через диэлектрические свойства вакуума – это единственная возможность согласовать теорию частиц, содержащую формфактор, с принципом причинности[12].

Рассмотрение псевдоточечного варианта модели частиц представляется нам интересным и тем, что оно имеет эвристическую ценность. Оно указывает нам на новую возможность преодоления известных трудностей теории поля, состоящую в соотнесении вакууму физических свойств среды.

Переходя к рассмотрению попыток [1, 12, 15] учесть гравитационное взаимодействие в теории элементарных частиц, используя методы квантовой теории поля, следует заметить, что все известные попытки в этом направлении содержат гипотезу о точечности частиц, которая находится в прямом противоречии с естественным обобщением классического образа частицы на случай общей теории относительности. Однако представляет интерес исследовать, в какой мере подобные

[11] Всегда обращает на себя внимание резкое отличие структуры выражения для собственной энергии электрона, получаемого в теории электронов Дирака, от соответствующего выражения в нерелятивистской области. Это отличие проявляется не только в том, что расходимость в релятивистской области из-за учета поляризации вакуума падает до логарифмической, но и в том, что выражение для собственной энергии содержит существенным множителем голую массу электрона. Соответствующее нерелятивистское выражение совсем не содержит параметра массы частицы.

Более того, от квантового выражения нельзя перейти к классическому, не содержащему постоянной Планка и не содержащему голой массы m_0. В связи с этим заслуживает особого внимания работа [7], в которой утверждается, что примененный метод дает для собственной энергии электрона Дирака вместо логарифмической расходимости линейную (как в классике), но с малым фактором $\exp(-3\pi\hbar c/2e^2) \to 1$ при $\hbar \to 0$.

[12] Изложенную выше ситуацию можно интерпретировать как вариант точечной частицы в нелинейной теории поля. Действительно, в правой части уравнения Эйнштейна содержится тензор энергии электромагнитного поля. Следовательно, в принципе можно представить $g_{\mu\nu}$ в виде функции поля $F_{\mu\nu}$: $g_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}(F_{\mu\nu})$, и рассматривать уравнения Максвелла как некоторые существенно нелинейные уравнения поля.

попытки учета гравитационного взаимодействия могут хотя бы формально приводить к непротиворечивой системе уравнений, способной давать сходящиеся результаты для величин, расходящихся в обычной теории.

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ

Хотелось бы отметить, что последовательной квантовой теории, учитывающей гравитационные взаимодействия в проблемах элементарных частиц, пока не существует. Здесь имеется в виду та квантовая теория, которая переходит при $\hbar \to 0$ в классическую теорию частиц, именно ту, которая при учете гравитационных эффектов, например в электродинамике, оказывается свободной от расходимости собственной массы электрического заряда.

Действительно, наиболее общий и строгий подход, с которого начинаются попытки включить гравитацию в теорию элементарных частиц, – это запись соответствующей системы уравнений для неквантованных полей. В электродинамике это уравнения Максвелла

$$F^{\mu\nu}_{;\nu} = -\frac{4\pi j^{\mu}}{c}, \tag{42а}$$

$$\partial_{[\mu} F_{\nu\lambda]} = 0, \tag{42б}$$

уравнения Эйнштейна

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = (8\pi \varkappa / c^4)(T^{(1)}_{\mu\nu} + T^{(2)}_{\mu\nu}), \tag{43}$$

где $T^{(1)}_{\mu\nu}$ – тензор энергии вещества, $T^{(2)}_{\mu\nu}$ – тензор энергии электромагнитного поля, и уравнения Дирака

$$\gamma^{\mu}(x)(\partial_{\mu} - \Gamma_{\mu} - ieA_{\mu})\psi - m_0\psi = 0, \tag{44}$$

$$\partial_{\mu}\gamma_{\nu} - \Gamma^{\lambda}_{\mu\nu}\gamma_{\lambda} - \Gamma_{\mu}\gamma_{\nu} + \gamma_{\nu}\Gamma_{\mu} = 0.$$

Уже до квантования полей $F_{\mu\nu}$, $g_{\mu\nu}$ и ψ в данной записи системы уравнений сделано одно фундаментальное допущение, именно, что в общей теории относительности имеет смысл точечный образ электрона[13]. Поэтому такая система уравнений не описывает, например, электростатический фридмон, его внутреннюю и внешнюю метрики. Система уравнений (42)–(44) в лучшем случае способна описать внешнюю метрику заряженной частицы. Другими словами, в лучшем слу-

---

[13] Т.е., например, член $\gamma^{\mu} A_{\mu}(x)\psi(x)$ в уравнении (44), строго говоря, возникает как $\int \gamma^{\mu} A_{\mu}(x)\psi(y)\varphi(x-y)dy$ при предположении, что $\varphi(x-y)$ представляет собой δ-образное распределение электрического заряда.

чае, казалось бы, можно лишь надеяться, что эта система уравнений может содержать неполное описание объекта, которое дается в последовательной теории при выборе (строго говоря, недопустимых), например, изотропных координат в общей теории относительности. К сожалению, исследование системы обсуждаемых уравнений для квантованных полей строго не проведено. Известные приближенные рассмотрения не гарантируют, что в более строгой теории сохранятся полученные результаты о сходимости, например, собственной массы электрона в электродинамике.

Дело в том, что и система уравнений (42)–(44), на основании которой делаются попытки получить конечное значение для собственной энергии электрона, используется в приближениях, справедливость которых, говоря осторожно, не ясна. Например, в работах [12, 15] фиксируется внимание на члене гамильтониана вида

$$H'_{\text{int}} = \frac{e\overline{\psi}\gamma_\mu\psi A^\mu}{\sqrt{-g}}, \qquad (45)$$

который в отличие от обычной теории, игнорирующей гравитационное взаимодействие, неполиномиален. Однако это выражение берется, в сущности, в отрыве от полной системы уравнений.

Здесь не учитывается гравитационная добавка к массе электростатического поля, о которой речь шла выше. В классическом случае эта добавка к массе оказывается в точности равной массе электростатического поля. Другими словами, в данном случае пренебрегают величиной того же порядка, что и учитываемая. К тому же следует показать, что и эта часть энергии тоже определяется логарифмическим членом – это a priori не ясно. Более того, выше шла речь о чисто электростатической модели частицы с "голой" массой, равной нулю. В теории же Дирака имеется "голая" масса электрона. Поэтому ситуация с собственной гравитационной массой здесь сложнее. Рассмотрение типа [7], которое не предполагает у электрона "голой" массы, отличной от нуля, было бы очень уместно.

Иначе говоря, в [1, 12, 15] обсуждается задача, в которой система обычных уравнений Максвелла, записанная в евклидовом пространстве, остается без изменений; вводится некий тензор $g_{\mu\nu}$, удовлетворяющий уравнению Даламбера в евклидовом пространстве

$$\Box g_{\mu\nu} = 0, \qquad (46)$$

а член взаимодействия в уравнении Дирака $e\gamma^\mu A_\mu\psi$ заменяется членом $e\gamma^\mu A_\mu\psi/\sqrt{-g}$, т.е. делается неполиномиальным. Таким образом, ad hoc выбирается система уравнений, не имеющая отношения к исходной системе (42)–(44).

С другой стороны, уместно спросить, случайно ли, что появляющиеся в последние годы попытки квантового рассмотрения гравитационных дефектов дают в некоторых случаях сходящиеся значения величин вместо бесконечных, получаемых при игнорировании гравитационных взаимодействий. Насколько эти результаты неслучайны, и возможно ли наглядное физическое истолкование в этих случаях регуляризующей роли гравитации? Авторы этих работ исходят из формальных,

чисто расчетных наблюдений, показывающих, что нелинейность взаимодействий может играть регуляризующую роль. Однако формальное рассмотрение задачи без ясного наглядного понимания физического механизма, лежащего в основе регуляризующей способности гравитационного поля, не создает уверенности, что отрицательный или положительный результат не является лишь результатом данного приближения, что возникают они лишь в результате суммирования, может быть, очень большого, но всегда неполного числа графов Фейнмана.

Нам представляется, что таким физическим принципом в общей теории относительности, который обеспечивает сходящиеся результаты для собственной энергии, является, как это впервые указано в работе [9], принцип эквивалентности.

Равенство полной (инертной) массы и массы гравитирующей – это условие, при котором гравитационное взаимодействие играет роль регуляризатора.

Это условие содержится автоматически в уравнениях Эйнштейна. Как указал Купер[14], принцип эквивалентности наглядно иллюстрируется в приближении, наиболее близком к ньютоновскому. Действительно, в уравнении Пуассона $\Delta\Phi = 4\pi\varkappa\rho_0$, где ρ_0 – некоторое распределение голой массы, эта плотность должна быть исправлена собственной гравитационной энергией $\rho\Phi/2$, где ρ – плотность полной массы:

$$\Delta\Phi = 4\pi\varkappa\rho = 4\pi\varkappa\left(\rho_0 + \frac{1}{2}\rho\Phi\right). \tag{48}$$

Исключая ρ, можно уравнение (48) переписать в виде

$$\Delta\Phi = \frac{4\pi\varkappa\rho_0}{\left(1 - \frac{1}{2}\Phi\right)}. \tag{49}$$

Соотношение

$$\rho = \rho_0 + \frac{1}{2}\rho\Phi \tag{50}$$

представляет собой эквивалент условия (47). Таким образом, принцип эквивалентности соответствует нелинейному характеру уравнения. Как показано в [9], уравнение (49) прямо следует в статическом случае из уравнений Эйнштейна, записанных в изотропных координатах. Отмеченная нелинейность ведет к тому, что полная собственная масса точечной частицы оказывается равной нулю. Но достаточно в уравнении (48) нарушить равенство полной и гравитирующей масс, достаточно в члене $\rho\Phi(\rho)/2$ вместо ρ (плотности полной массы) написать ρ_0 – плотность затравочной массы, как полная масса точечной частицы окажется бесконечно большой и отрицательной по знаку.

---

[14] См. примечание 5 в [9], где обсуждается полученное выражение для полной массы m частицы размера ε

$$m_{tot} = m_0 - \varkappa m^2/2\varepsilon. \tag{47}$$

В общем случае уравнение Гупты [14], эквивалентное уравнению Эйнштейна, написанное для компоненты тензора $\gamma_{00} = g_{00} - 1$, имеет вид

$$\Box\gamma_{00} = \varkappa\Theta_{00}, \tag{51}$$

где $\Theta_{00} = T_{00} + t_{00}$, т.е. Θ_{00} равна сумме тензора энергии-импульса материи и псевдотензора энергии гравитационного поля. Уравнение (48) может быть получено из уравнения (51) в соответствующем статическом приближении. Θ_{00} представляет собой плотность полной энергии, т.е. $Mc^2 = \frac{1}{2}\int\Theta_{00}dv$, где M – полная масса. Так как речь идет о частице, то M – шварцшильдовская масса частицы. В то же время Θ_{00} является функцией от γ_{00}, $\Theta_{00} = \Theta_{00}(\gamma_{00})$, а γ_{00} – решение уравнения (51) – является функцией шварцшильдовской массы M. Таким образом, мы имеем уравнение для полной массы M

$$Mc^2 = \int\Theta_{00}(M)d^3v, \tag{52}$$

которое в случае (49) оказывается квадратным уравнением (47). Физическая природа регуляризующей способности гравитации связана с условием (52), с равенством полной и гравитирующей масс, но она не обязательно связана с нелинейностью. Действительно, разложим в правой части уравнения (49) в ряд фактор

$$\left(1 - \frac{1}{2}\Phi\right)^{-1} = 1 + \frac{1}{2}\Phi + \frac{1}{4}\Phi^2 + \ldots \tag{53}$$

и ограничимся первыми членами этого разложения. Теперь уравнение (48) принимает вид

$$\Delta\Phi = 4\pi\varkappa\rho_0\left(1 + \frac{1}{2}\Phi\right), \tag{54}$$

это уравнение линейно по Φ.

Рассмотрим это уравнение для простого случая, когда плотность массы ρ_0 задается δ-образным распределением (распределением по поверхности сферы радиуса ε) $\rho_0 = m_0\delta(r - \varepsilon)/4\pi r^2$ так, что уравнение (54) принимает вид

$$\Delta\Phi = \frac{\varkappa m_0}{r^2}\delta(r - \varepsilon)\left(1 + \frac{1}{2}\Phi\right). \tag{55}$$

Условие (52) теперь записывается в виде

$$M = m_0\int\delta(r - \varepsilon)\left(1 + \frac{1}{2}\Phi\right)dr. \tag{56}$$

Далее, если $\Phi(M) = -\varkappa M/r$, то из уравнения (56) следует

$$M = m_0\left(1 - \frac{\varkappa M}{2\varepsilon}\right), \tag{57}$$

или[15]

$$M = m_0\left(1+\frac{\varkappa m_0}{2\varepsilon}\right)^{-1}, \quad M(\varepsilon \to 0) \to 0. \tag{58}$$

Таким образом, линейное уравнение (54) также приводит к конечным выражениям для полной собственной массы частицы. Мы для иллюстрации использовали δ-образное распределение массы, но можно рассмотреть более реалистическую задачу с тем же результатом, когда масса задается равномерным распределением плотности внутри некоторой сферы.

Рассмотрим уравнение

$$\Delta\Phi = 4\pi\varkappa\rho_1(1+\Phi/2), \tag{59}$$

пусть

$$\rho_1 = \begin{cases} \rho_0, & r \leqslant r_0, \\ 0, & r > r_0, \end{cases} \qquad r_0 = (3M_0/4\pi\rho_0)^{1/2}, \tag{60}$$

так что

$$\int\limits_0^\infty 4\pi r^2 \rho_1(r)dr = M_0. \tag{61}$$

Уравнение (59) имеет вид

$$\Delta v - \bar{\rho} v = 0, \tag{62}$$

где $v = 1+\Phi/2$, $\bar{\rho} = 2\pi\varkappa\rho_1$. Вводя переменную $\xi = r^{-1}$, можно переписать уравнение (62) в виде

$$\frac{d^2 v}{d\xi^2} - \frac{\bar{\rho}x}{\xi^4} = 0.$$

При $\bar{\rho} = 0$ $v = A + B\xi$ (A и B – константы), при $\bar{\rho} = 2\pi\varkappa\rho_0$

$$v = \xi\left[C_1 \exp\frac{\sqrt{2\pi\varkappa\rho_0}}{\xi} + C_2 \exp\frac{-\sqrt{2\pi\varkappa\rho_0}}{\xi}\right].$$

---

[15] Правую часть равенства можно представить в виде ряда

$$M = m_0\left[1 - \left(\frac{r_0}{2\varepsilon}\right) + \left(\frac{r_0}{2\varepsilon}\right)^2 - \left(\frac{r_0}{2\varepsilon}\right)^3 + \ldots\right].$$

Таким образом, возникает ряд по степеням отношения гравитационного радиуса $r_0 = \varkappa m_0/c^2$ к размерам частицы ε, или, можно сказать, по степеням гравитационной константы $\varkappa$. В этом смысле в выражении (58) собран весь бесконечный ряд теории возмущений по степеням $\varkappa$, расходящийся при $\varepsilon \to 0$.

Таким образом,

$$v=\begin{cases} r^{-1}[C_1\exp(\sqrt{2\pi\varkappa\rho_0 r})+C_2\exp(-\sqrt{2\pi\varkappa\rho_0 r})], & r\leqslant r_0,\\ A+\dfrac{B}{r}, & r>r_0. \end{cases} \tag{63}$$

Из условий на бесконечности следует выбрать $A = 1$, тогда B имеет смысл $(-m)$ (массы со знаком минус).

Требование конечности $v(0)$ дает $C_1=-C_2=C/2$, так что

$$v=\begin{cases} Cr^{-1}\operatorname{sh}\sqrt{2\pi\varkappa\rho_0 r}, & r\leqslant r_0,\\ 1-\dfrac{m}{r}, & r>r_0. \end{cases} \tag{64}$$

Условия сшивания на границе $r = r_0$ приводят к равенствам

$$Cr_0^{-1}\operatorname{sh}\sqrt{\bar\rho_0}\,r_0=1-\frac{m}{r_0}\quad(\bar\rho_0=2\pi\varkappa\rho_0), \tag{65}$$

$$-Cr_0^{-2}\operatorname{sh}\sqrt{\bar\rho_0}\,r_0+Cr_0^{-1}\sqrt{\bar\rho_0}\operatorname{ch}\sqrt{\bar\rho_0}\,r_0=\frac{m}{r_0^2}, \tag{66}$$

$$C=\frac{r_0-m}{\operatorname{sh}\sqrt{\bar\rho_0}\,r_0}=\frac{m}{\sqrt{\bar\rho_0}\,r_0\operatorname{ch}\sqrt{\bar\rho_0}\,r_0-\operatorname{sh}\sqrt{\bar\rho_0}\,r_0}. \tag{67}$$

Обозначая $\gamma=\sqrt{2\pi\varkappa\rho_0}\,r_0$, получаем

$$m=r_0\left(1-\frac{\operatorname{th}\gamma}{\gamma}\right).$$

Так как $\operatorname{th}\gamma\leqslant|\gamma|$, величина m всегда положительна.

Предел точечной частицы достигается при $\rho_0\to\infty$. При этом

$$\gamma=\rho_0^{1/2}\sqrt{\frac{3M_0}{4\pi}},$$

т.е. $\gamma\to\infty$ при $\rho_0\to\infty$, а так как $r_0\to 0$, то $m\to 0$ при $\gamma\to\infty$ вследствие того, что $\operatorname{th}\gamma/\gamma\to 0$. В этом случае C равно

$$C=\frac{r_0}{\gamma\operatorname{ch}\gamma}.$$

Минимальное значение v достигается при $r = 0$ (это следует из того, что v' везде положительна):

$$v(0)=C\sqrt{2\pi\varkappa\rho_0}=[\operatorname{ch}\gamma]^{-1}.$$

При $\gamma \to \infty$ $\nu(0) \to 0$. Так как уравнение (49) с правой частью $\rho_0 /(1-\Phi/2)$ дает тот же результат для точечных частиц, то, по-видимому, те же конечные значения для полной массы частицы получаются, если разложение (53) оборвать на любом следующем члене, но точно решать уравнения (48) с соответствующей правой частью[16].

Можно принять гипотезу, что любое приближение квантовых расчетов, которое удовлетворяет принципу эквивалентности, приведет к сходящимся значениям собственной массы заряженной частицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волков М.К.* Препринт Р2-5569 / ОИЯИ. Дубна, 1971.
2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля. М.: Наука, 1967.
3. *Марков М.А., Фролов В.П.* // ТМФ. 1970. Т. 3, № 1. С. 3.
4. *Новиков И.Д.* // Астрон. журн. 1963. Т. 40. С. 772.
5. *Новиков И.Д.* // Там же. 1964. Т. 41. С. 1073.
6. *Новиков И.Д.* // Там же. 1966. Т. 43. С. 911.
7. *Фомин П.И., Трутень В.И.* // Ядер. физика. 1960. Т. 9. С. 838.
8. *Эйнштейн А.* Собр. соч. М.: Наука, 1966. Т. 2. С. 514.
9. *Arnowitt R., Deser S., Misner C.* // Phys. Rev. 1960. Vol. 120. P. 313.
10. *Arnowitt R., Deser S., Misner C.* // Ann. Phys. 1965. Vol. 38. P. 88.
11. *Bonnor W.* // Ztschr. Phys. 1960. Bd. 160. S. 59.
12. *Budini P., Calucci G.* // Nuovo cim. A. 1971. Vol. 70. P. 419.
13. *Einstein A.* // Ann. Math. 1939. Vol. 40. P. 922.
14. *Gupta S.N.* // Rev. Mod. Phys. 1957. Vol. 29. P. 334.
15. *Isham C., Salam A., Strathdee J.* // Lett. nuovo cim. 1971. Vol. 4. P. 101.
16. *Kruscal M.* // Phys. Rev. 1960. Vol. 119. P. 1743.
17. *Papapetrou A.* // Proc. Roy. Irish Acad. A. 1945. Vol. 51. P. 191.

---

[16] Для источника $\rho_0 = m_0\delta(r-\varepsilon)/4\pi r^2$, распределенного по сфере, это легко показать. Действительно, ограничимся в (53) N членами, тогда уравнение (48) имеет вид

$$\Delta\Phi = 4\pi\varkappa\rho_0 \sum_{n=0}^{N} \left(\frac{1}{2}\Phi\right)^n .$$

Для Φ можно сразу написать решение

$$\Phi = \begin{cases} -\dfrac{\varkappa m}{r}, & r \geqslant \varepsilon, \\ -\dfrac{\varkappa m}{\varepsilon}, & r < \varepsilon. \end{cases}$$

Условие сшивания дает связь m и m_0 в виде

$$m = m_0 \sum_{n=0}^{N} \left(\frac{-\varkappa m}{2\varepsilon}\right)^n, \quad \text{при } \varepsilon \to 0, \ m \to 0.$$

ЗАМКНУТЫЕ МИРЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ИСТОЧНИКИ МАССИВНОГО ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ*

1. В настоящее время все большее внимание привлекает к себе проблема гравитационного коллапса и возможных конечных состояний коллапсирующих объектов. Существует утверждение, доказанное при ряде предположений Картером [10], Израелем [12, 13] и др. (см. обзор [19]), о том, что наиболее общим конечным состоянием при гравитационном коллапсе является конфигурация, описываемая решением Керра–Ньюмана [14, 15], т.е. аксиально-симметричная, заряженная, обладающая угловым моментом "черная дыра". Существует также утверждение, что параметры: масса, заряд и угловой момент – это единственные характеристики подобных объектов.

Было показано в [2, 3, 11], что в процессе коллапса звезды ею излучаются все высшие гравитационные и электромагнитные мультипольные моменты. В [17, 18] утверждается, что скалярное поле исчезает при приближении его источника к горизонту. Аналогичные утверждения имеются и для других полей, кроме электростатического [8, 9]. Таким образом, "черные дыры" представляются объектами общей теории относительности, обладающими минимальным числом глобальных характеристик. Необходимо отметить, что в рамках общей теории относительности существует и другой класс объектов, обладающих минимальным числом глобальных характеристик, так называемые замкнутые миры. Электрический заряд замкнутых миров равен нулю, внешняя масса и момент отсутствуют. Однако эти свойства изменяются, если деформировать метрику закрытого мира перераспределением вещества или внесением заряда [6, 7]. При этом возникает полузамкнутый мир, обладающий массой и зарядом. Соответствующее внешнее продолжение Рейсснера–Нордстрема имеет горизонт, и для внешнего наблюдателя такой объект аналогичен соответствующей "черной дыре". Поэтому имеет интерес рассмотрение возможности помещения в закрытый мир источников других полей, кроме электромагнитного.

В [1] было показано, что помещение в мир Фридмана скалярных источников может не приводить к его размыканию. Этот результат тесно связан с отсутствием закона сохранения источников скалярного поля. Обсуждение подобной возможности для случая массивного векторного поля, порождаемого барионными источниками, особенно интересно в связи с наличием закона сохранения барионного тока, с одной стороны, и отсутствием точной теоремы Гаусса, с другой стороны. Кроме того, интересен ответ на вопрос о возможности существования закрытой вселенной с неравным нулю барионным зарядом (без антивещества).

2. Утверждение о равенстве нулю полного электрического заряда закрытого мира делается на основании теоремы Гаусса [4]. Рассмотрим поэтому вопрос о том, как выглядит аналог этой теоремы в случае массивного векторного поля.

---

* Теорет. и мат. физика. 1973. Т. 16, № 1. С. 70–75. Соавтор *В.П. Фролов*.

Уравнения массивного (с массой m) векторно поля A_ν в произвольном кривом пространстве имеют вид ($c = 1$)

$$F^{\mu\nu}_{,\nu} - m^2 A^\mu = -4\pi j^\mu. \qquad (1)$$

Из условия сохранения тока $j^\mu_{;\mu} = 0$ и (1) вытекает, что $A^\mu_{,\mu} = 0$. Из уравнения (1) интегрированием по пространственно-подобной гиперповерхности Σ получается соотношение

$$\int_\Sigma \partial_\nu\left(\sqrt{-g}F^{\mu\nu}\right)d\sigma_\mu - \int_\Sigma \sqrt{-g}m^2 A^\mu d\sigma_\mu = -4\pi\int_\Sigma \sqrt{-g}j^\mu d\sigma_\mu. \qquad (2)$$

Можно ввести такую синхронную систему отсчета $ds^2 = d\tau^2 - \omega_{ij}dx^i x^j$, в которой Σ определяется условием $\tau = 0$. В этой системе

$$\int_\Sigma \partial_\nu\left(\sqrt{-g}F^{\mu\nu}\right)d\sigma_\mu = \int_\Sigma \partial_i\left(\sqrt{\omega}F^{0i}\right)d^3x = \int_{\partial\Sigma} \sqrt{\omega}F^{0i}ds_i, \qquad (3)$$

где $\partial\Sigma$ – граница гиперповерхности Σ. В случае замкнутого мира, т.е. когда эта граница состоит из одной точки, вычисленные в (3) интегралы обращаются в нуль. Интеграл в правой части (2) по определению пропорционален заряду источника g. Поэтому в случае замкнутого пространства получаем соотношение

$$m^2\int_\Sigma \sqrt{-g}A^\mu d\sigma_\mu = 4\pi g. \qquad (4)$$

В случае нулевой массы поля $m = 0$ (электромагнитное поле) из (4) следует равенство нулю полного заряда закрытого мира.

Образно говоря, уравнение (4) показывает, что "заряд поля", локализованный во всем пространстве (левая часть (4) с обратным знаком), равен по величине и противоположен по знаку заряду источника (правая часть (4)), который может быть локализован в произвольной области. Для потенциала ge^{-mr}/r от точечного заряда в евклидовом пространстве соотношение (4) выполняется при интегрировании по всему бесконечному пространству (в этом случае интегралы (3) исчезают из-за быстрого убывания A_0 на бесконечности) [5, 15]. Если в случае электродинамики силовые линии поля заканчиваются обязательно на заряде противоположного знака (расположенного, быть может, на бесконечности), то в случае массивного векторного поля поток вектора F_{0i} погашается своеобразным "зарядом поля" в окружающем источник пространстве. В силу этого можно ожидать, что возможен замкнутый мир, обладающий не равным нулю зарядом массивного векторного поля.

3. Чтобы доказать непротиворечивость уравнений массивного векторного поля в замкнутом мире, обладающем ненулевым зарядом, рассмотрим следующую задачу. Пусть в мире Фридмана

$$ds^2 = a^2(\eta)(d\eta^2 - d\chi^2 - \sin^2\chi d\theta^2 - \sin^2\chi\sin^2\theta d\varphi^2) \qquad (5)$$

в момент максимального расширения ($a(0) = a_0$, $\dot{a}(0) = 0$) в окрестности $\chi = 0$ помещен однородно распределенный (с плотностью ρ_0) заряд векторного поля g, занимающий шар радиуса $a_0\chi_0$:

$$j^{\nu} = \begin{cases} \rho_0\delta^{\nu 0} / a_0, & \chi \leqslant \chi_0; \\ 0, & \chi > \chi_0. \end{cases} \tag{6}$$

Сферически-симметричное решение уравнений (1) в момент максимального расширения выбирается в виде[1] $A_{\mu} = \delta_{\mu 0}A_0(\chi)$. Поэтому система (1) сводится к одному нетривиальному уравнению

$$\frac{1}{\sin^2\chi}\frac{d}{d\chi}\left(\sin^2\chi\frac{dA_0}{d\chi}\right) - m^2a_0^2A_0 = -4\pi a_0^4 j^0.$$

При решении этого уравнения следует различать два случая: $ma_0 > 1$ и $ma_0 < 1$. В первом случае общее решение внутри источника, регулярного в точке $\chi = 0$, записывается в виде

$$A_0(\chi) = \frac{4\pi\rho_0 a_0}{m^2} + \frac{a\,\mathrm{sh}\,\lambda\chi}{\sin\chi}, \tag{7}$$

а решение вне источника имеет вид

$$A_0(\chi) = \frac{\beta_- e^{-\lambda\chi} + \beta_+ e^{\lambda\chi}}{\sin\chi}, \tag{8}$$

где $\lambda = \sqrt{m^2a_0^2 - 1}$.

Из условий сшивания на границе источника ($\chi = \chi_0$) этих двух решений находятся коэффициенты $\beta_{\pm}$:

$$\beta_{\pm} = \pm\frac{a}{2} + Be^{\mp\lambda\chi_0}\left(\sin\chi_0 \pm \frac{1}{\lambda}\cos\chi_0\right),$$

где $B = 2\pi\rho_0 a_0/m^2$. Оставшийся произвол в постоянной a в случае плоского на бесконечности пространства удалялся требованием убывания на бесконечности решения, что выделяет случай $\beta_+ = 0$. Так как в закрытом мире нет пространственной бесконечности, то в качестве дополнительного требования наложим условия конечности и непрерывности решения во всем пространстве вне источника. Для этого достаточно выполнения условия[2]

$$\beta_- e^{-\lambda\pi} + \beta_+ e^{\lambda\pi} = 0. \tag{9}$$

---

[1] Такой выбор соответствует случаю отсутствия различных волн в начальный момент.

[2] Если условия (9) не выполняются, то в точке $\chi = \pi$ появляется полюс у решения, что соответствует нахождению в $\chi = \pi$ заряда.

Используя (9), получаем

$$\alpha = -2B\left[\sin\chi_0 \operatorname{ch}\lambda(\pi-\chi_0) + \frac{1}{\lambda}\cos\chi_0 \operatorname{sh}\lambda(\pi-\chi_0)\right](\operatorname{sh}\lambda\pi)^{-1},$$

$$\beta_\pm = B\left\{e^{\lambda\chi_0}\left(\sin\chi_0 \pm \frac{1}{\lambda}\cos\chi_0\right)\mp\right.$$

$$\left.\mp(\operatorname{sh}\lambda\pi)^{-1}\left[\sin\chi_0 \operatorname{ch}\lambda(\pi-\chi_0) + \frac{1}{\lambda}\cos\chi_0 \operatorname{sh}\lambda(\pi-\chi_0)\right]\right\}.$$

При малых χ_0 заряд источника g и плотность ρ_0 связаны соотношением $g = {}^4\!/_3\pi\rho_0 a_0^3\chi_0^3$. Используя это и переходя к пределу $\chi_0 \to 0$, нетрудно получить

$$\lim_{\chi_0\to 0}\beta_\pm = \frac{g}{2}(1\mp\operatorname{cth}\lambda\pi).$$

Таким образом получается решение вне точечного источника в виде

$$A_0(\chi) = \frac{g\operatorname{sh}\lambda(\pi-\chi)}{\operatorname{sh}\lambda\pi\sin\chi}. \tag{10}$$

В случае $a_0 m < 1$ полностью аналогичные рассуждения приводят к решению

$$A_0(\chi) = \frac{g\operatorname{sh}\bar\lambda(\pi-\chi)}{\sin\bar\lambda\pi\sin\chi}, \tag{11}$$

где $\bar\lambda = \sqrt{1-m^2a_0^2}$.

В обоих случаях в точке $\chi = \pi$ A_0 имеет конечное значение и напряженности $F_{01} = \partial_1 A_0$ обращаются в ней в нуль. Точка $\chi = \pi$ является для массивного векторного поля регулярной, и в ней по-прежнему справедливы уравнения поля без источников. Таким образом, уравнения массивного векторного поля допускают решение с неравным нулю зарядом в закрытом мире[3].

В случае электромагнитного поля $m = 0$. Переходя к пределу $\bar\lambda \to 1$ в (11) и отбрасывая бесконечную константу, получаем выражение для потенциала электростатического поля от точечного заряда в мире Фридмана

$$A_0(\chi) = g\operatorname{ctg}\chi.$$

При этом в точке $\chi = \pi$ появляется полюс у поля, соответствующий помещению в эту точку заряда $(-g)$, так что полный заряд мира обращается в нуль.

Следует обратить внимание на тот факт, что регулярное решение в закрытом мире должно содержать, наряду с экспоненциально убывающим членом, и член, экспоненциально растущий, хотя и с малым коэффициентом. Если ограничиться

---

[3] Легко проверить, что для (10) и (11) выполняются соотношения (4).

только экспоненциально падающим решением, то возникает, как и в электродинамике, особенность в точке $\chi = \pi$ типа $(\sin\chi)^{-1}$, т.е. возникает несовместимость такого поля с закрытой метрикой. Резюмируя все изложенное, отметим, что, если не учитывать обратное действие поля на метрику, мы показали, что уравнения массивного векторного поля допускают замкнутый мир с неравным нулю зарядом.

4. Построим, наконец, пример, в котором учитывается обратное действие поля на метрику и замкнутое пространство содержит ненулевой заряд массивного векторного поля. Для этого заметим, что уравнения поля (1) получаются из лагранжевой плотности

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{16\pi}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + \frac{m^2}{8\pi}A_\mu A^\mu - j^\mu A_\mu. \qquad (12)$$

Тензор энергии-импульса, вычисленный по этой лагранжевой плотности, имеет вид

$$T_\mu^\nu = \frac{1}{4\pi}\left[-F_{\mu\lambda}F^{\mu\lambda} + \frac{1}{4}\delta_\mu^\nu F_{\alpha\beta}F^{\alpha\beta} + m^2 A_\mu A^\nu - \frac{m^2}{2}\delta_\mu^\nu A_\alpha A^\alpha\right]. \qquad (13)$$

Напомним, что в уравнениях Эйнштейна

$$G_\mu^\nu \equiv R_\mu^\nu - \frac{1}{2}\delta_\mu^\nu R = 8\pi\varkappa T_\mu^\nu \qquad (14)$$

уравнения при $\mu = 0$ играют роль уравнений начальных условий. Уравнения типа $G_i^k = 8\pi\varkappa T_i^j$ являются динамическими. Если в некоторый момент уравнения начальных условий допускают замкнутый мир, то в силу уравнений динамики он всегда будет оставаться замкнутым. Ограничимся для простоты случаем однородного и изотропного мира с метрикой

$$ds^2 = a^2(\eta)(d\eta^2 - d\chi^2 - \sin^2\chi d\theta^2 - \sin^2\chi\sin^2\theta d\varphi^2). \qquad (15)$$

Нетрудно показать, что уравнения поля (1) в данной метрике допускают решение

$$A_\mu = \delta_{\mu 0}\frac{4\pi\rho a_0^3}{m^2 a^2}, \qquad j^\mu = \delta^{\mu 0}\frac{\rho_0 a_0^3}{a^4}, \qquad \rho_0 = \text{const}, \qquad (16)$$

где a_0 – размер мира в момент временной симметрии, ρ_0 – плотность источников поля в этот момент. Легко проверить выполнимость условия $A^\mu_{,\mu} = 0$, так как $j^\mu_{,\mu} = 0$.

Тензор энергии-импульса для поля (16) легко вычисляется и имеет вид

$$E_0^0 = -E_1^1 = -E_2^2 = -E_3^3 = \frac{2\pi\rho_0^2 a_0^6}{m^2 a^6} \equiv w.$$

Если, кроме того, в пространстве однородно и изотропно распределена пылевидная материя с плотностью ε, то полный тензор энергии-импульса имеет вид

$$T_0^0 = w + \varepsilon, \qquad T_1^1 = T_2^2 = T_3^3 = -w. \qquad (17)$$

Подставляя значение T_0^0 в уравнение начальных условий, получаем следующее уравнение для размера замкнутого мира в момент временной симметрии:

$$\frac{3}{a_0^2} = 8\pi\varkappa(w_0 + \varepsilon_0). \tag{18}$$

Вспоминая, что объем замкнутого мира Фридмана равен $V = 2\pi^2 a^3$, можно выразить ρ_0 и ε_0 через полный заряд g и внутреннюю массу M: $\rho_0 = g/2\pi^2 a_0^3$, $\varepsilon_0 = M/2\pi^2 a_0^3$. При заданных g и M размер мира в момент временной симметрии определится из соотношения

$$a_0^4 - \frac{4\varkappa M a_0^3}{3\pi} - \frac{4\varkappa g^2}{3m^2\pi^2} = 0. \tag{19}$$

Нетрудно проверить, что из (19) вытекает неравенство

$$a_0^2 \geqslant \frac{2\sqrt{\varkappa} g}{\sqrt{3}\pi m}. \tag{20}$$

Это неравенство обращается в равенство при $M = 0$. Таким образом, при заданных g и M решение (19) всегда существует. Однако если известно, что замкнутый мир обладает зарядом g, то размеры его в момент временной симметрии обязаны быть достаточно большими (так, чтобы выполнялось неравенство (20)).

В данном простом примере легко проследить развитие мира во времени. Уравнения динамики сводятся к одному уравнению для функции $a(\eta)$, имеющему вид

$$\dot{a}^2 = \frac{4\varkappa g^2}{3\pi^2 m^2 a^2} + \frac{4\varkappa}{3\pi} a - a^2,$$

из которого следует, что система расширяется из точки до максимального значения a_0, а затем снова сжимается в точку. На этом заканчивается построение примера самосогласованного решения для замкнутого мира, обладающего ненулевым зарядом массивного векторного поля. Заметим, что нетрудно построить модель замкнутого мира, не обладающего однородным и изотропным распределением заряда (требуя, например, лишь однородности и изотропности распределения суммарной плотности энергии поля и пыли в начальный момент), однако интегрирование уравнений динамики в этом случае представляется затруднительным.

Если попытаться применить построенное выше решение для случая электромагнитного поля ($m = 0$), то переход к пределу $m \to 0$ в (20) показывает, что соответствующее пространство будет плоским.

Построенные примеры и приведенные рассуждения показывают, что возможны замкнутые миры, обладающие ненулевым зарядом массивного векторного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Асанов Р.А.* // ТМФ. 1970. Т. 2. С. 289.
2. *Гинзбург В.Л., Озерный Л.М.* // ЖЭТФ. 1964. Т. 47. С. 1030.
3. *Дорошкевич А.Г., Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* // Там же. 1965. Т. 49. С. 136, 170.
4. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля. М.: Наука, 1967.
5. *Марков М.А.* Препринт Д2-4534 / ОИЯИ. Дубна, 1969.
6. *Марков М.А., Фролов В.П.* // ТМФ. 1970. Т. 3. С. 3.
7. *Марков М.А., Фролов В.П.* // Там же. 1972. Т. 13. С. 41.
8. *Bekenstein J.D.* // Phys. Rev. Lett. 1972. Vol. 28. P. 452.
9. *Bekenstein J.D.* // Phys. Rev. D. 1972. Vol. 5. P. 1239.
10. *Carter B.* // Phys. Rev. Lett. 1971. Vol. 26. P. 331.
11. *De la Cruz V., Chase J.E., Israel W.* // Ibid. 1970. Vol. 24. P. 423.
12. *Israel W.* // Phys. Rev. 1967. Vol. 164. P. 1776.
13. *Israel W.* // Commun. Math. Phys. 1968. Vol. 8. P. 245.
14. *Kerr R.P.* // Phys. Rev. Lett. 1963. Vol. 11. P. 237.
15. *Markov M.A.* // Ann. Phys. 1970. Vol. 59. P. 109.
16. *Newman E.T.* et al. // J. Math. Phys. 1965. Vol. 6. P. 918.
17. *Teitelboim C.* // Lett. nuovo cim. 1972. Vol. 3. P. 326.
18. *Teitelboim C.* // Ibid. P. 397.
19. *Thorne K.S.* Preprint OAP-236. 1971.

К РЕГУЛЯРИЗУЮЩЕЙ РОЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ*

Как известно, полная масса классической заряженной частицы, распределенной по области r_0, дается выражением (см. [4, 5])

$$m_{\text{tot}} = m_0 + \frac{e^2}{2r_0c^2} - \varkappa\frac{m_{\text{tot}}^2}{2r_0c^2}, \tag{1}$$

где m_0 – "голая" масса частицы, e – ее электрический заряд, $\varkappa$ – гравитационная постоянная. Отсюда следует

$$m_{\text{tot}} = -\frac{r_0c^2}{\varkappa} + \left[\frac{r_0^2c^4}{\varkappa^2} + \frac{e^2}{\varkappa} + \frac{m_0^2r_0c^2}{\varkappa}\right]^{1/2}.$$

Соотношение (1) учитывает равенство инертной и гравитирующей масс.

При стремлении размеров частицы к нулю $(r_0 \to 0)$

$$m_{\text{tot}} \to e/\sqrt{\varkappa}. \tag{2}$$

* ЖЭТФ. 1973. Т. 64, вып. 4. С. 1105–1109.

Этот же результат получается строго в рамках общей теории относительности [2, 4, 5, 9]. Однако при этом строгом описании частица на самом деле оказывается неточечной. Вернее, в общей теории относительности частица оказывается точечной при описании ее в изотропных координатах. Но изотропные координаты не дают полного пространственного описания данного объекта. Это обстоятельство выясняется непосредственным образом, когда задача решается последовательно и строго. Последовательность и строгость в исследовании этой задачи заключаются в том, что находится не только внешнее, но и внутреннее решение, описывающее данную протяженную систему. Из условий сшивания внутреннего и внешнего решений устанавливается [2, 9], что система при массе (2) не может иметь точечных размеров. Минимально возможные размеры системы даются выражением

$$r^c = \varkappa m_{\text{tot}} / c^2 = e\sqrt{\varkappa}/c^2 . \quad (3)$$

Иначе говоря, это выражение для r^c представляет собой точно половину от шварцшильдовского радиуса. Действительно, в этом случае, как показано в [2, 9], внешняя метрика дается элементом

$$ds^2 = \Phi(r)dt^2 - dr^2 / \Phi(r) - r^2 d\Omega^2,$$

где $\Phi(r) = (1 - \varkappa m_{\text{tot}} / c^2 r)^2$; и $m_{\text{tot}} = e/\sqrt{\varkappa}$. Продолжение данной внешней метрики на область, занимаемую веществом (внутреннее решение), неоднозначно: 1) возможен случай монотонного изменения r, реализуемый моделью Папапетру (статическая модель заряженной пыли $e / \varkappa m = 1$); 2) возможен случай, когда внешнее и внутреннее решение сшиваются через горловину ("кротовую нору"), в этом случае внутреннее решение не может быть статическим. В данном примере внутреннее решение описывается метрикой Фридмана и r как функция χ [9] имеет минимум ($r' = 0$ – горловина). Этот случай является предельным случаем полузамкнутого мира $m_{\text{tot}} > e/\sqrt{\varkappa}$ при стремлении $m_{\text{tot}} \to e/\sqrt{\varkappa}$. При $e \to 0$ внешняя метрика становится евклидовой, внутренняя метрика становится метрикой закрытого мира Фридмана. Второй случай нами назван фридмоном [8] и соответствующая метрика полузамкнутого мира – фридмонной метрикой.

С другой стороны, все известные попытки учесть регуляризующую роль гравитационного поля в рамках квантовой теории ведут к появлению другой фундаментальной массы и соответственно другой фундаментальной длины [1, 6, 7, 10]:

$$m^q = \sqrt{\hbar c / \varkappa} \quad (4)$$

и

$$r^q = \sqrt{\hbar \varkappa / c^3} . \quad (5)$$

Согласно этим результатам, может создаться впечатление, что регуляризующая способность гравитационного поля имеет чисто квантовую природу. Согласно же классическому рассмотрению проблемы, гравитация играет роль регуляризатора и без привлечения квантовой теории.

Цель данной заметки – указать, что в последовательной теории должны содержаться обе длины (r^c и r^q) и что этот результат можно получить из простых соображений, основанных на принципе эквивалентности и соотношении неопределенностей Гейзенберга.

В квантовой теории проблема рассматривается в рамках теории возмущений. Другими словами, рассматривается заряженная частица массы m_p, которая в промежуточном состоянии испускает квант энергии, масса которого M_0, согласно соотношению неопределенностей Гейзенберга, локализована в области r_0, так что[1]

$$M_0 \approx \hbar/2r_0 c. \tag{6}$$

Или, составляя по аналогии с (1) выражение для полной массы промежуточного состояния, получаем

$$m_{\text{tot}} = m_p + \frac{\hbar}{2r_0\chi} + \frac{\varepsilon^2}{2r_0\chi^2} - \varkappa\frac{m_{\text{tot}}}{2r_0\chi^2}, \tag{7}$$

откуда

$$m_{\text{tot}} = -\frac{r_0 c^2}{\varkappa} + \left[\frac{r_0^2 c^4}{\varkappa^2} + \frac{\hbar c}{\varkappa} + \frac{e^2}{\varkappa} + \frac{2r_0 c^2 m_p}{\varkappa^2}\right]^{1/2}. \tag{8}$$

При $r_0 \to 0$ имеем

$$m_{\text{tot}} \to \left(\frac{\hbar c}{\varkappa} + \frac{e^2}{\varkappa}\right)^{1/2}. \tag{9}$$

Выражение (9) представляет собой предельно большое значение массы промежуточного состояния в квантовой теории возмущений.

Обычно роль гравитационного поля в промежуточных состояниях не учитывается, что ведет к бесконечным значениям энергии в этих состояниях. Учет гравитационного дефекта масс ограничивает верхний предел энергии (массы) промежуточных состояний выражением (9). Теперь гравитационный радиус $r_{\text{gr}} = 2M_{\text{tot}}\varkappa / c^2$ содержит массу M_{tot}, даваемую выражением (9), и на основании (3) соответствующая длина дается выражением

$$r^q = \left(\frac{\hbar c + e^2}{c^4}\varkappa\right)^{1/2}. \tag{10}$$

Как выражение для массы (9), так и выражение для длины (10) при $\hbar \to 0$ переходят в соответствующие классические формулы (2) и (3). В случае электро-

[1] В терминах Ферми частица, испуская в промежуточном состоянии квант массы $M_0 = E/c^2$, делает "заем" на время $\Delta t \sim \hbar/E = \hbar/M_0 c^2$. За время Δt испущенный квант может "отлететь" от частицы лишь на расстояние $r \leqslant c\Delta t = \hbar/M_0 c$.

динамики $e^2/\hbar c \ll 1$, и величиной e^2 в выражениях (9) и (10) можно пренебречь. Но другая ситуация может возникнуть в мезодинамике, где специфический заряд массивного векторного поля g уже нельзя считать малым: $g^2/\hbar c \geqslant 1$.

Таким образом, с учетом сказанного выше известное выражение для электромагнитной собственной энергии электрона принимает вид

$$m_{\rm cl} \approx \frac{3}{2\pi}\frac{e^2}{\hbar c} m_e \ln\frac{m_{\max}}{m_e} \sim \frac{m_e}{6}. \tag{11}$$

Следует, однако, заметить, что логарифмически расходящееся выражение для электромагнитной собственной энергии электрона, полученное в теории Дирака много лет назад, вызывает ряд вопросов, на которые лишь в последнее время получаются, по-видимому, удовлетворительные ответы. Действительно, выражение (11) для собственной электростатической энергии электрона не переходит при $\hbar \to 0$ в соответствующее классическое выражение. Более того, квантовое выражение (11) существенно зависит от затравочной массы электрона. Линейно расходящийся же классический аналог собственной электростатической энергии электрона вообще лишен какой-либо зависимости от затравочной массы частицы.

Однако в последние годы поиски соответствующих решений вне рамок теории возмущений привели [3] к иному, чем (11), выражению для электромагнитной собственной массы электрона:

$$m_{\rm cl} = m_{\max} \exp\left\{-\frac{3\pi}{2}\frac{\hbar c}{e^2}\right\} \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa}} \exp\left\{-\frac{3\pi}{2}\frac{\hbar c}{e^2}\right\}. \tag{12}$$

Это решение "сверхпроводящего типа" не разлагается по константе тонкой структуры и не может быть получено в рамках теории возмущений.

Выражение (12) в отличие от (11) в соответствии с классическим выражением не зависит от какой-либо затравочной массы электрона. Оно с ростом $m_{\max}$, как и классическое, расходится линейно и при $\hbar \to 0$ переходит в соответствующее классическое выражение. Экспоненциальный фактор $\sim e^{-650}$, учитывающий квантовые поправки (поляризацию вакуума), делает пренебрежимо малым вклад электромагнитного поля в собственную энергию электрона, несмотря на, казалось бы, огромное значение предельной массы промежуточного состояния. Согласно данному рассмотрению, масса электрона не может быть электромагнитного происхождения.

Хотя в предыдущих оценках учитывается принцип эквивалентности в форме (2), учитывается (что существенно) квантовый характер явления, однако недостатком такого рассмотрения является то обстоятельство, что метрика в этой задаче остается евклидовой, хотя условия ее таковы, что они могли бы повести к возникновению замкнутой или почти замкнутой метрики. Рассмотрим внимательнее эти условия с точки зрения возможности возникновения подобных фридмонных [2, 8, 9] образований в промежуточных состояниях.

Если плотность электрически нейтрального вещества ε/c^2 такова, что действительно образуется система с метрикой закрытого мира Фридмана, то соответ-

ствующее уравнение Эйнштейна записывается в виде [1]

$$\frac{8\pi\varkappa}{3c^4}\varepsilon = \frac{1}{a^2}\left[\left(\frac{da}{d\eta}\right)^2 \frac{1}{a^2} + 1\right], \tag{13}$$

где $a(\eta)$ – радиус данный системы в момент t, а $cdt = a(\eta)d\eta$.

В момент максимального расширения "мира" ($da/d\eta = 0$) его максимальный радиус a_0 дается выражением

$$\varepsilon_0 = 3c^4 / 8\pi\varkappa a_0^2. \tag{14}$$

Полная "голая" масса системы записывается в виде

$$M_0 = \frac{1}{c^2} \int \varepsilon_0 dv = \frac{3}{4}\pi c^2 \frac{a_0}{\varkappa}. \tag{15}$$

Следует подчеркнуть то обстоятельство, что закрытый мир может в принципе существовать в виде мира очень малых размеров (малых a_0) и содержать вещество очень малых масс (M_0). Но только необходимая однородная плотность вещества (μ_0) в момент максимального расширения должна удовлетворять соотношению

$$\mu_0 = \varepsilon_0 / c^2 \sim c^6 / \varkappa^3 M_0^2. \tag{16}$$

Если в формуле (15) осмелиться положить M_0 равной предельной массе $m_{\max}$ промежуточных состояний $M_0 \sim \sqrt{\hbar c / \varkappa}$, для размера "мира" получится выражение критической длины:

$$a_0 = \sqrt{\hbar\varkappa / c^3} \sim \hbar / M_0 c. \tag{17}$$

Если подобная ситуация возникла бы в классической, неквантовой, физике, мы могли бы говорить о том, что в данных промежуточных состояниях могли бы возникать состояния с закрытой (в случае электрически нейтральной системы) или полузакрытой, фридмонной [2, 8, 9] метрикой в случае заряженных систем. Более того, обращает на себя внимание то обстоятельство, что когда в промежуточном состоянии оказывается масса порядка $M_0 \sim \sqrt{\hbar c / \varkappa}$, то гравитационный радиус этой массы

$$r_{\text{gr}} = 2\varkappa m / c^2 = 2\sqrt{\hbar\varkappa / c^3}$$

совпадает с областью локализации данной массы, допускаемой соотношением неточностей Гейзенберга:

$$l \sim \hbar / mc \sim \sqrt{\hbar\varkappa / c^3}.$$

При дальнейшем увеличении энергии промежуточного состояния mc^2 гравитационный радиус должен был бы соответственно увеличиваться. Но, с другой стороны, область локализации энергии промежуточного состояния, согласно соот-

ношению Гейзенберга, должна соответственно уменьшаться, а при $m > \sqrt{\hbar c / \varkappa}$ становилась бы меньше гравитационного радиуса. Если бы подобная ситуация возникла в области применения классической физики, мы бы сказали, что речь идет о системе, масса которой находится под гравитационной сферой Шварцшильда. Другими словами, речь бы шла о системах в коллапсированном состоянии. Это могло бы быть либо состояние "черной дыры", либо скорее состояние системы с полузамкнутой метрикой, если "голая" масса промежуточного состояния сильно уменьшается в результате гравитационного дефекта. В настоящее время мы не знаем, насколько в этом состоянии остаются в силе представления о метрике (хотя в современной теории мы упрямо используем в этих случаях евклидову метрику). Но мы знаем, что область локализации массы с ростом энергии промежуточного состояния, согласно соотношению Гейзенберга, уменьшается. Следовательно, вследствие большой концентрации массы должен увеличиться ее гравитационный дефект, который соответственно уменьшит полную массу промежуточного состояния. Видимо, только в результате учета гравитационного дефекта масс гравитационный радиус системы в промежуточном состоянии может не превышать размеры, допускаемые соотношением Гейзенберга, т.е. таким образом может разрешиться обсуждаемое противоречие.

Состояния полузамкнутых систем или состояния черных дыр, казалось бы, должны числиться в полном наборе состояний, которые могут спонтанно возникать в обсуждаемых случаях. Более того, энергетически эти состояния наинизшие, что, как мы видели выше, представляется существенным в общей картине промежуточных состояний, если учитывать гравитационные взаимодействия. Не учитывать же гравитационные взаимодействия в промежуточных состояниях, допуская при этом возможность возникновения в этих состояниях ультрамакроскопически больших масс, – это прямое нарушение элементарной логики.

Конечно, адекватное квантовое описание коллапсирующих систем может внести существенные коррективы, но, видимо, в основном в их пространственно-временно́е описание. Вряд ли существенно изменится энергетическая картина этих состояний. Вернее, вряд ли это существенно коснется такого эффекта, как гравитационный дефект масс, локализованных в малой области, и принципа эквивалентности. Состояния полузамкнутых систем могут характеризоваться в энергетическом представлении соотношением между полной (M_{tot}) и "голой" (M_0) массами. Именно [2] $M_{tot} = \frac{4}{3}\pi\mu_0 a_0^3 \sin^3\chi$, где $a_0 = \varkappa M_0 / 3\pi c^2$, $M_0 = 2\pi^2\mu_0 a_0^3$, следовательно, $M_{tot} = \frac{2}{3}\pi^{-1} M_0 \sin^3\chi$. Соотношение $M_{tot} / M_0 \approx \frac{2}{3}\pi^{-1}\sin^3\chi$, если $\pi/2 < \chi < \pi$, представляет собой условие полузамкнутости [2, 9] состояния в энергетическом представлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ландау Л.Д.* Собрание трудов. М.: Наука, 1969. Т. 2. С. 228.
2. *Марков М.А., Фролов В.П.* // ТМФ. 1970. Т. 3. С. 3.
3. *Фомин П.И., Трутень В.И.* // Ядер. физика. 1969. Т. 9. С. 838.
4. *Arnowitt R., Deser S., Misner C.* // Phys. Rev. 1960. Vol. 120. P. 313.

5. *Arnowitt R., Deser S., Misner C.* // Ann. Phys. 1965. Vol. 38. P. 88.
6. *WeWitt B.S.* // Phys. Rev. Lett. 1964. Vol. 13. P. 114.
7. *Isham C.J., Salam A., Strathdee J.* // Lett. nuovo cim. 1971. Vol. 4. P. 101.
8. *Markov M.A.* // Ann. Phys. 1970. Vol. 59. P. 109.
9. *Markov M.A.* Cosmology and elementary particles: (Lecture notes). Trieste, 1971. Pt I/II. (Prepr. / Intern. centre for theor. phys.; IC/71/33).
10. *Pauli W.* // Helv. phys. Acta. 1965. Vol. 4, suppl. P. 69.

ON BLACK AND WHITE HOLES*

Collapse and anticollapse of material systems have long been the object of theoretical investigations. At the present time, when astrophysics becomes gradually an experimental science the interest in such systems increases greatly. Much attention is also paid to peculiar changes in the process of collapse of the global properties of matter which are being extensively discussed. In particular, a possible disappearance of some fields in the external metric of similar systems in the process of collapse (when the collapsing matter is behind the Schwarzschild sphere) is widely discussed.

This situation figuratively is defined by Wheeler (1971 year) as follows: "A black hole has no hair".

In what follows we are dealing with the systems in which matter is localized in regions smaller than the corresponding gravitational radii. The state of these systems has a certain variety. It can, in particular, be both a collapse and an anticollapse. The systems under discussion have also other differences if sources of different fields are included into them. It seems advisable to make a certain classification of possible objects of this kind in the framework of general relativity. In what follows we restrict ourselves in the main to the consideration of the systems when the appropriate metric in the region of localization of gravitating matter is described by a linear element of the closed Friedmann world [33], and the external solution matched with this "internal" solution at a given moment is the Schwarzschild solution. We exclude thereby a very interesting class of external metrics of the Kerr type because the appropriate internal metrics matched with them have not been constructed yet. In the discussion of the fate of short-range forces in the external metric of these systems it is advisable to employ also systems of small total masses. Such systems are, in principle, allowed by theory. The gravitational radius of the systems in question may be e.g. of the order $\hbar / m_v c$, where m_v is the mass of, e.g., a vector meson. The quantity $\hbar / m_v c$ is of the order 10^{-13} cm: here we are still in the range of applicability of the non-quantum theory of gravitational field. In other words, the given length $\hbar / m_v c$ is by 20 orders of magnitude larger than the corresponding gravitational length ($l_{gr} = (\hbar c \varkappa)^{1/2} c^{-2} \sim 10^{-32}$ cm), where we may suspect the invalidity of the classical Einstein gravitational theory. In addition, we may always, if needed, put formally m_v to be very

* Gravitational Radiation and Gravitational Collapse / Ed. C. DeWitt-Morette. 1974. P. 106–131.

small, i.e. $\hbar / m_\nu c$ to be arbitrary large. There is no real physical sense of considering short-range external fields of celestial bodies at distances $\hbar / m_\nu c \sim 10^{-13}$ cm and discussing whether it is possible to detect them experimentally. It should be stressed that systems with gravitational radius of an order of 10^{-13} cm are by no means related to microworld objects. Such a gravitational radius is assigned to the mass

$$M_0 \sim \frac{\hbar}{m_\nu c}\frac{c^2}{2\varkappa} \sim 10^{14}\ \text{gr} = 10^8\ \text{tons}. \tag{1}$$

The Friedmann linear element

$$ds^2 = a^2(\eta)d\eta^2 - a^2(\eta)d\chi^2 - a^2(\eta)\sin^2\chi(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)$$

or

$$ds^2 = c^2dt^2 - a^2(t)\{d\chi^2 + \sin^2\chi(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)\} \tag{2}$$

is known to describe one of the models of the closed world.

Here the variable χ changes in the limits

$$0 \leqslant \chi \leqslant \pi, \quad a(\eta) = a_0(1 - \cos\eta). \tag{3}$$

The variable η is connected with the time t by a simple relation:

$$t = \frac{a}{c}(\eta - \sin\eta).$$

The same eq. (2) can describe the internal metric of the so-called black hole, more strictly, of a certain model of the black hole, provided the matter of the system is distributed in such a manner that the region χ is filled only to $\chi_m \leqslant \pi/2$. And then the external metric, e.g. (Euclidean at infinity), should be "matched" with the internal Friedmann metric in an appropriate manner. The black hole is usually viewed as the final state of a collapsing system when the matter of the system is behind the Schwarzschild sphere. We imply here the state which the collapsing system tries to reach at the Schwarzschild time increasing to infinity. We call this limiting state of the system black hole of the first kind.

We may define strictly this object in the framework of the abovementioned metric with the above-mentioned restriction on the range of the χ values. Namely,

1) Black hole of the first kind:

$$0 < \chi_m \leqslant \frac{\pi}{2}. \tag{4}$$

As far as the metric is nonstatic and the question is to discuss collapse, further fate of the system is related to decreasing $a(t)\chi_m$ value, i.e. to reducing sizes of the system which is already behind the Schwarzschild sphere.

The variety of the objects described by the internal metric (2) is not limited by the black hole of this kind.

In fact, if matter fills in the region χ, so that $\pi/2 < \chi_m < \pi$, the there arises a space with a semi-closed metric. This space has the following properties. If spheres or $\chi > 0$ are

circumscribed around the point $\chi = 0$ at a given moment then the surface of the sphere is

$$S = 4\pi a^2(t)\sin^2\chi. \tag{5}$$

The surface of the sphere S increases with increasing χ to $\chi = \pi/2$. However, when $\chi > \pi/2$, the sizes of the sphere decrease and for $\chi = \pi$ the sphere reduces to a point, which implies that the world becomes closed.

Semi-closed worlds were first studied by Klein [37], Zel'dovich [5], and Novikov [12]. Klein called the system of this kind Friedmann world with external continuation "(Mit Außenwelt)".

When $\chi < \pi/2$ (black hole of the first kind) the surface of the spheres in question increases monotonically with increasing χ at a given moment t. In the external metric the quantity $a(t)\sin\chi = r$ assumes also the meaning of a monotonically increasing radius. The semi-closed metric (when $\pi/2 < \chi_m < \pi$) is characterized by the existence of a minimal surface, a minimal value of r in vacuum, where $\partial r/\partial\chi = 0$ and $\partial^2 r/\partial\chi^2 > 0$ (for details see Markov and Frolov [9]; Markov [39]).

In other words, the semi-closed metric is characterized by the presence of a specific throat which links the internal and external metric.

In principle, among celestial bodies there may be objects of the second class just mentioned. Thus

2) Objects with semi-closed metric: $\pi/2 < \chi_m < \pi$ are black holes of the second kind.

Although the objects of the second kind are, in their astrophysical nature, analogous to the black holes, they differ essentially from the black holes of the first kind. The objects of the former class can arise (for instance) in the process of evolution of white holes (see Appendix 2).

Finally, the third case:

3) $\chi_m = \pi$ – the Friedmann closed world.

The matter density $\mu(t)$ integrated over the whole space of a closed world gives a "bare" mass of the system, i.e. the total mass without taking into account the gravitational defect:

$$M_0 = 2\pi^2\mu(t)a^3(t). \tag{6}$$

This value of the "bare" mass defines the sized of the radius of the closed world at the moment of its maximum extension:

$$a_0 = \frac{\varkappa M_0}{3\pi c^2}. \tag{7}$$

The latter expression is immediately obtained from the Einstein equation

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{2\pi}{3}\varkappa\mu - \frac{c^2}{a^2}. \tag{8}$$

If we put in eq. (8) $\dot{a} = da/dt = 0$, then according to eq. (6), $\mu_0 = M_0 / 2\pi^2 a_0^3$.

These relations show that a *closed world can, in principle, contain an arbitrary small amount of matter and has arbitrary small sizes*. It appears that quantum mechanics alone can

impose here definite restrictions. Thus, for

$$M_0 = \left(\frac{\hbar c}{\varkappa}\right)^{1/2} \sim 10^{-5}\ \text{gr}$$

the dimensions of the world

$$a_0 \sim \frac{(\hbar c \varkappa)^{1/2}}{c^2} \sim 10^{-33}\ \text{cm}. \qquad (9)$$

There are some grounds to believe that at these distances the notion of length losses its meaning due to quantum fluctuations of the metric [23, 44].

The total mass of a part of a closed world, localized in the region from $\chi = 0$ to χ_m (i.e. the bare mass minus its gravitational defect) is given by the expression [37]

$$M_{\text{tot}} = \frac{c}{\varkappa} a_0 \sin^3 \chi_m. \qquad (10)$$

Thus, the total mass of the closed system ($\chi_m = \pi$) is zero.

The semi-closed system is characterized by two lengths. One of the lengths l_{in} characterizes the internal sizes of the system

$$l_{\text{in}} = a(t)\chi. \qquad (11)$$

The maximum value of the internal sizes may be arbitrary large

$$l_{\text{in}}^{\max} = a_0 \chi_m, \qquad (12)$$

where a_0 is the radius of the system defined by the bare mass, according to eq. (7).

The other sizes are associated with the surface, which surrounds a part of the Friedmann world filled in with matter. This is the surface of the "throat" $S = a^2 \sin^2 \chi_0$ with its radius

$$l_{\text{out}} = a(t) \sin \chi_0, \quad \chi_0 > \chi_m, \qquad (13)$$

which, depending on the χ_0 value, may be arbitrary small. At $\chi_0 \to 0$, l_{out} tends to zero. The quantity l_{out} is the external dimension of the system, that is the dimensions of the system, which an external observer sees.

Systems like our Universe with numerous galaxies having ultramacroscopic internal dimensions (l_{in}) may have arbitrary small external dimensions (l_{out}). Even this surface may be of microscopic dimensions and, according to eq. (10), may possess a microscopic total mass[1]. In this sense, we may speak of a peculiar relativity of the motions of macro and micro [39].

Further variety of the objects under discussion may be associated with the fact that they can be in two different states defined by the initial conditions. In other words, the internal dimensions of the system can eventually either decrease

$$\left(\frac{da}{dt} < 0 - \text{collapse}\right)$$

[1] In the framework of the classical theory there are not restrictions on the smallness of the total mass. It may be, e.g. of the order of the mass of an elementary particle.

or increase

$$\left(\frac{da}{dt} > 0 - \text{anticollapse}\right).$$

These objects being in the state of collapse are systems absorbing matter from the surrounding space (black holes), while in the state of anticollapse there may, in principle, be radiating objects, sources emitting matter (white holes).

Strictly speaking, so far we are not aware of whether black holes exist and whether the collapsing systems are realized in nature.

However, we may apparently assert with a great probability that there exists, at least, one system in the state of anticollapse, this is precisely our Universe. It is quite probable that our Universe is just a white hole. Very little is known about the end fate of the collapsing system.

It is hard to say a priori whether it is possible to exclude the existence of periodic states when a collapse is changed by an anticollapse. In principle, such a possibility may be given by, e.g., long-range fields of the type of electrostatic fields [14]. Short-range vector meson fields may play the same role provided in the process of collapse the system turns out to be in the region $\hbar / m_v c$ [4], where m_v is the vector meson mass.

But studying this situation we see that the collapse changes by an anticollapse which however occurs not in the space where the collapse took place [14, 20, 27].

On the one hand, this unexpected and unusual situation forces us to search for the explanation may be in an insufficiently real description of the process (for instance, in neglecting, e.g. the huge pair production effect in big meson fields of the final stage of collapse (see Appendix 1)). On the other hand, the same situation gives a possibility of making nontrivial speculations concerning topological structure of our Universe [16]. Should we exclude in this case the possibility that some of the objects in question might enter in this state of anticollapse in the state of a white hole only recently, as a result of its periodic development, and this might happen precisely in our space.

These considerations would suggest an interpretation of the formation of galaxies in the spirit of the conceptions of Ambartsumyan [1] which, in his opinion, follow from astronomical observations. A similar hypothesis was proposed by Novikov [13] and Neeman [41]. But finally, the problem reduces to different formulations of the appropriate initial conditions.

It is obvious that spontaneous emergence of a white hole in our space is not a very easy understandable event. However, in a certain sense the same problem arises when discussing the original moment in the development of our Universe.

Objects with semi-closed matric can be classified as an independent class of objects.

A black hole of the first kind cannot turn to, e.g. a semi-closed system. The matter is that the black hole can only absorb matter from the surrounding space, can only increase its gravitational radius, while the formation of a system with semi-closed metric requires for the Schwarzschild sphere to decrease its sizes.

Another situation arises if we deal with objects in the state of anticollapse (see Appendix 2).

Up to this point of our presentation the subject of our consideration were electrically neutral systems. The introduction of even arbitrary small electric charges in the systems in

question changes essentially the situation and thereby changes the classification of the objects we are interested in.

First of all, the third case turns out to be impossible – system with closed metric. The closed Friedmann metric perturbed by the presence of an arbitrary small electric charge is the case of the semi-closed metric.

In the Friedmann metric (2) we can formally find a solution for the electrostatic potential φ, for simplicity at the moment of maximum extension of the world.

Such a solution is of the form

$$\varphi = \frac{\text{const}}{a \sin \chi}. \tag{14}$$

As $\chi \to \pi$ the expression for the potential becomes infinite. For $\chi = \pi$ there appears a particular feature characteristic of a point source the presence of which at this place has not been supposed by us. This is precisely the form in which the contradiction between the closed metric and the attempt to introduce in this metric the total non-zero electric charge is revealed. In fact, at the place where $\chi \to \pi$ there arises something representing the image of the field source localized at $\chi = 0$. The contradiction with the closed metric disappears if we imply the charge of an opposite sign. Then the total electric charge of the system turns out to be equal to zero. If the strength lines go out from the charge at the point $\chi = 0$, then they must end in this case on the charge of an opposite sign at the point $\chi = \pi$.

The character of the deformation of the closed world metric by a small electric charge was considered in detail by Markov and Frolov [9]. When the electric charge is arbitrary small a noticeable deviation from the Friedmann metric arises only for χ arbitrary close to π.

In other words, if we circumscribe spheres with $\chi > 0$ around a small charge ε localized at $\chi = 0$ then these spheres are characterized by the expression (5) up to χ very close to π.

In the domain $\chi > \pi/2$ the spheres will greatly decrease with increasing χ, as in the absence of the electric change. However, in this case (at $\chi > \pi/2$) the spheres play the role of peculiar focusing lenses for strength lines of an electrostatic field.

A detailed study shows that when the density of strength lines ("hair" of the electromagnetic field) becomes such that the corresponding value for the electrostatic potential reaches a value close to

$$\varphi = \frac{c^2}{\varkappa^{1/2}}, \tag{15}$$

then with further increase of χ the spheres in question begin growing again and the metric turns to a particular case of the well-known Nordström–Reissner metric. This particular case is characterized by the Schwarzschild mass

$$M_{\text{tot}} = \frac{\varepsilon}{\varkappa^{1/2}} \tag{16}$$

and the metric itself (outside throat) is

$$ds^2 = \Phi c^2 dt^2 - \frac{dr^2}{\Phi} - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta \, d\varphi^2), \tag{17}$$

where

$$\Phi = \left(1 - \frac{\varepsilon \varkappa^{1/2}}{c^2 r}\right)^2. \tag{18}$$

The radius of a minimal sphere which is allowed by the electrostatic charge is proportional to the electric charge

$$r_{\min} = \frac{\varepsilon \varkappa^{1/2}}{c^2}. \tag{19}$$

The contradiction with the closed metric is "created" by the Gauss theorem. Figuratively speaking, the electric strength lines ("hair") become more dense for χ close to π so that they "punch" in the closed metric a "wormhole" (throat) into which the electric vector flux rushes forming outside the given material system a particular case of the Nordström–Reissner metric. Outside the throat this metric is quite analogous to the metric suggested by Papapetrou [42].

But the physical object characterized by this metric and the complete space-time description of the metric at small distances $\left(r < \varepsilon \varkappa^{1/2} / c^2\right)$ are of quite different nature. Special attention should be paid to this fact.

The Papapetrou metric describes the static case when gravitational attraction of particles is equilibrated by electrostatic forces of repulsion of their electric charges. Roughly speaking, from the equality $\varkappa m^2/r = e^2/r$ it follows the relation (16) $m = e / \varkappa^{1/2}$.

A detailed analysis [10] of the Papapetrou metric shows that in this case as one should except for the static case, matter cannot be behind the Schwarzschild sphere. In the Papapetrou model the sizes of the domain in which matter is localized is necessarily large than the gravitational radius of the system.

In our case we are dealing with the system which is inside the Schwarzschild sphere. In this model the metric is nonstatic. The external metric in the form (18) is a limiting case of the Nordström–Reissner metric for $M > e / \varkappa^{1/2}$ when $M \to e / \varkappa^{1/2}$.

The general case of the Nordström–Reissner metric is known to be described by the expression (17) as well, but now Φ is of the form

$$\Phi = 1 - \frac{2\varkappa m_0}{c^2 r} - \frac{\varkappa \varepsilon^2}{c^4 r^2}. \tag{20}$$

The expression (20) has two roots

$$r_{\pm} = \frac{\varkappa m_0}{c^2}\left\{1 \pm \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{\varkappa m_0^2}\right)^{1/2}\right\}. \tag{21}$$

In our limiting version of this metric, according to (16) $M_{\text{tot}} = e / \varkappa^{1/2}$, r_+ and r_- are equal to each other.

The physical picture of the Friedmann metric distorted by the presence of the small charge differs from the corresponding picture of the Papapetrou model by that in the latter the values of the total mass of the system and its bare mass coincide. While in our case the total mass is of essentially electrostatic nature. The value of the bare mass (say, the number of nucleons in the system) may be arbitrary. Here the bare mass is completely cancelled by the gravitational defect of the system. The internal metric together with the external metric (18) which at $\varepsilon \to 0$ transforms to the metric of the Friedmann closed world is given by us the name of friedmon metric and the object itself – "friedmon".

We have considered in detail the friedmon metric and have introduced for the given object a special term "friedmon" because in literature the case $\varepsilon^2/\varkappa \to M^2$ is interpreted as the Papapetrou case, or which is the same, as the Bonnor case even when one considers an entire analytic continuation of the metric for $\varepsilon^2/\varkappa = M^2$ [24]. According to (19) the radius of the throat increases proportionally to the total electric charge.

This is the description of the throat from the point of view of classical (nonquantum) physics. But from the viewpoint of quantum physics the state of the throat cannot be stable.

Indeed, if at some initial moment a throat with the above mentioned properties arises then in its superstrong electrical field[2] there inevitably occurs a violent process of production of any kind of electrically charged pairs: proton-antiproton pairs, any kind of meson pairs, and finally, electron-positron pairs. Charges of opposite signs will attempt to decrease the effective charge of the throat while the charges of the other component of pairs will flow to the euclidean infinity.

The decrease of the electric charge of a system due to the production of charged particle pairs results in the decrease of the electric charge of the throat. The peculiarity of the quantum effect of electron-positron pair production consists in that the pair components may be spaced by a considerable space-like interval [7]. *It may happen that the electron and positron are created on opposite sides from the event horizon.* A "subbarrier" penetration of particles with opposite charges through the event horizon (throat), particle pairs produced outside the throat, is also possible.

From the viewpoint of the Schwarzschild observer a particle approaches the gravitational radius of the black hole during an infinitely long time. But in this process there is a striking peculiarity which should be borne in mind in a number of facts.

The law of change of this spacing with time is given by the formula

$$r = r_{gr} + (r_1 - r_{gr})e^{-c(t-t')/2r_{gr}},$$

here r is the location of the particle at a moment t', r_{gr} is the gravitational radius, $(r_1 - r_{gr}) \ll \ll r_{gr}$.

Here the numbers are very instructive. In fact, let $r_{gr} \sim 10^5$ cm, and $(r_1 - r_{gr}) \sim 10^3$ cm.

As is seen from the formula, even this short way, amount 10 m, is covered by the particle during an infinite time. The main thing is however that in a second the distance

[2] The value of the potential $\varphi = c^2/\sqrt{\varkappa}$ appears to be the maximum one which is allows by nature in R space. This expression contain no electric charge (!!).

between the Schwarzschild sphere and the test particle becomes infinitely small:

$$\Delta r \sim 10^3 e^{-10^3} \text{ cm} < 10^{-10000} \text{ cm},$$

which is infinitely small even compared with the characteristic length of quantum fluctuations of the metric $l \sim 10^{-33}$ cm.

Because of the presence of huge fields in the systems in question (friedmons) near the throat the pair production process under given initial conditions occurs mainly directly in the throat region. *But spontaneous appearance of a charge of an opposite sign "inside" the fridmon decreases the internal charge of the friedmon.* Consequently, according to (19), the radius of the throat and the horizon surface, the Schwarzschild sphere surface, decrease as well.

In other words, in quantum domain quantum effects can violate the Hawking theorem. Another case of quantum violation of the Hawking theorem was recently indicated by Bekenstein [22]. If we suppose that the electron of a pair produced near the throat carried away at infinity an energy $E = \varepsilon e / r_{gr} = e\varkappa^{-1/2} c^2$ when it pushes off from the throat charge (ε), then the remainder conserves the characteristic property of the friedmon:

$$M' = \frac{\varepsilon'}{\varkappa^{1/2}}.$$

Thus, in the process of spontaneous pair production near a given friedmon its total charge, total mass and the sizes of the throat can decrease. This process has not been studied yet in detail, but the estimates [9] show that the pair formation process results in a decrease of the friedmon charge in the final state to a value $Ze < 137e$. According to Landau, further vacuum polarization appears to be capable of decreasing the charge to $\varepsilon = 1$. It is essential that the same value of the electric charge of the final state arises for any charge value of the initial friedmon. In any case, the latter assertion holds for relatively small initial Z, namely for $Z < 10^{20}$ for initial

$$r_h = \frac{\varepsilon \varkappa^{1/2}}{c^2} \sim 10^{-14} \text{ cm}.$$

The appearance of a friedmon state in the process of evolution of white holes accompanied by radiation of charges was considered by Frolov [18] (see Appendix 2).

If in this process the Hawking theorem is not violated then the mass of the initial system may be only half of the original mass. It is however quite possible that the whole process occurs under these conditions with a complete violation of the Hawking theorem.

In any case a friedmon with electric charge equal to unity is a stable object of friedmon metric. The parameters of this friedmon are as follows: mass $m_f^e \sim 10^{-6}$ gr, sizes $r_f^e \sim$ $\sim 10^{-33}$ cm.

If there exist baryon hair of black holes then in addition to the electrostatic friedmon there might be meson friedmons:

$$r_f^g = \frac{g}{\varkappa^{1/2}} \sim 10^{-5} \text{ gr}, \quad r_f^g = \frac{g\varkappa^{1/2}}{c^2} \sim 10^{-32} \text{ cm},$$

where $g^2 / \hbar c \sim 1$, g is the baryon charge, the source of a vector meson field [38]. It should be stressed once more that r_f^e and r_f^g are the external sizes of the system. Its internal sizes $a(t)\chi_0$ and its bare mass, the number of nucleons, may be expressed, e.g. by ultramacroscopic numbers. The particles under discussion and the particle characterized by the constants $\hbar$, c, $\varkappa$, i.e. $(\hbar c / \varkappa)^{1/2} \sim 10^{-5}$ gr – Plank–Wheeler particle – may be regarded as possible "elementary" particles of limiting maximum large masses, that is they can form a group of "maximon" [8]. Maximons may be of a relict origin, i.e. may exist in our Universe perpetually. Hawking [32] has also assumed the existence of such particles with charge ~30. But the object of such small sizes ($\sim 10^{-32}$ cm) with such a charge will turn out to be unstable due to vacuum polarization.

Thus, we see that the presence of electric charges, sources of the electrostatic field changes essentially the classification of objects the internal metric of which is partially or completely characterized by the metric of Friedmann closed world. In the latter case there naturally and inevitably arises a semi-closed metric. There arises the question of what the effect of the change of the closed world metric if it is perturbed by small charges of other fields: for example, scalar, massive vector fields of fields related to weak interactions.

Numerous papers assert that the sources of other fields (for the exception of electromagnetic field) localized in matter inside the Schwarzschild sphere (hole) do not excite appropriate fields outside given objects: "Black hole has no hair". But here many problems arise which are still open.

1. THE MESON VECTOR FIELD

At first glance it seems that, as in the case of electrostatic, the presence of sources of the vector meson field is incompatible with the closed metric.

Indeed, using the standard procedure, it is easy to obtain, at the moment of maximum expansion, for the meson vector field potential the following expression

$$\varphi_0 \sim \frac{\beta e^{-\lambda\chi}}{a_0 \sin\chi}, \quad \lambda = (a_0^2 m_v^2 - 1)^{1/2}, \tag{22}$$

where m_v is the vector meson mass. This expression can naturally be thought of as an analog, in the euclidean space, to the ordinary expression $\varphi_0 \sim \beta(e^{-m_v r} / r)$. On the basis of (22), it might be concluded that the potential φ_0 at $\chi \to \pi$ is divergent as in the electrostatic case that the presence of vector meson field sources with non-zero total charge is incompatible with the closed metric, and that the given system must have a continuation – an external metric, i.e. an external meson vector field.

But this assertion is wrong: it is based on the use of the boundary conditions, which are ordinary for the euclidean space. These conditions of finiteness of the solution select solution exponentially damping with increasing r.

In the case of a closed world there is no spacial inifinity, and therefore a more general type of the solution is possible [11]:

$$\varphi_0 = \frac{\beta e^{-\lambda\chi}}{a\sin\chi} + \frac{\gamma e^{+\lambda\chi}}{a\sin\chi}. \tag{23}$$

The requirement that the solution should be finite and continuous is satisfied by the condition imposed on the coefficients β and γ:

$$\beta e^{\lambda\pi} + \gamma e^{-\lambda\pi} = 0. \tag{24}$$

Thus, outside the point source g_0 the solution is

$$\varphi = \frac{g_0 \operatorname{sh}\lambda(\pi - \chi)}{a \operatorname{sh}\lambda\pi \sin\chi}. \tag{25}$$

Now φ_0 at $\chi \to \pi$ is finite, and the field $\partial\varphi_0/\partial\chi$ at $\chi \to \pi$ vanishes.

Thus, we are led to the conclusion that the closed world may contain the total nonzero baryon charge (vector meson field source). This establishes the essential difference of the massless vector field (i.e. electrodynamics) from the meson vector field. The obtained results do not contradict the assertion that the meson vector field is absent outside black holes. At the same time, it is not a proof in favour of this assertion.

Meanwhile, as in the case of electrodynamics, the previous consideration is a rigorous proof of the presence of an electrostatic field sources behind the Schwarzschild sphere (the vector meson field outside the Schwarzschild sphere vanishes [21, 47, 71]).

It is worth noting that, in the case of the meson vector field as well, there is a certain peculiar analog of the Gauss theorem, more correctly, its peculiar generalization. More detailed consideration of the available relations leads us to the conclusion that the situation is really more complicated than seems at first.

We consider a mesodynamic analog of the Gauss electrodynamic theorem in an Euclidean metric, for simplicity [38].

Let a baryon charge ρ be localized in a certain domain so that

$$\rho \neq 0, \quad r < r_0,$$

$$\rho = 0, \quad r > r_0.$$

For the mesodynamic vector E_n flux through a closed surface surrounding the charge, on the basis of the equation

$$F^{\mu\nu}_{,\nu} - m_v^2\varphi^\mu = -4\pi j^\mu, \quad j^4 = \rho, \tag{26}$$

we get the following expression

$$\int E_n ds = m_v^2 \int \varphi^0 dV - \int \rho\, dV. \tag{27}$$

After circumscribing a sphere of radius $r > r_0$ about the charge we obtain E_n flux in the form

$$\int E_n ds = 4\pi m_v^2 \int_0^r \varphi^0(r) r^2 dr - 4\pi g. \tag{28}$$

If

$$\varphi^0 = \frac{g}{r} e^{-m_\upsilon r},$$

$$\int E_n ds = 4\pi g \left[m_\upsilon^2 \int\limits_0^r e^{-m_\upsilon r} dr - 1 \right]. \tag{29}$$

In electrodynamics the vector E_n flux has the same value on the sphere of any radius, while in mesodynamics decreases with increasing radius of the sphere. When the sphere radius tends to infinity, the r.h.s. of eq. (29) vanishes; the flux E_n is completely damped. If in mesodynamics the term "strength lines" is allowed, then in the case of vector meson field the strength lines do not end, as in electrodynamics, in charges of opposite signes. Instead, they are damped in an original manner, by the "field charge", if it is possible to say so, which is realized by the field potential, namely by the term $4\pi m_\upsilon^2 \int\limits_0^r \varphi^0(r) r^2 dr$ playing the role of such a charge opposite in sign. This "charge" is distributed over the whole space.

The sphere of finite radius r is crossed by a nonzero vector flux – this is the "hair" of the vector meson field. In this case it is useful to consider (as we have agreed earlier) collapse of small masses, whose gravitational radius is much smaller than $\hbar / m_\upsilon c \sim 10^{-13}$ cm. The possibility of principle of collapse of small masses was discussed by Hawking [31] and Zel'dovich [6]. An arbitrary small mass of a neutral matter can be brought into collapsing state by means of a huge pressure.

If the problem is to "organize" a collapse of, e.g. one gram of neutrons then when neutrons are localized in a domain far smaller than $\hbar / m_\upsilon c$ the numerical value of the second term in eq. (28), "field charge", becomes negligible. When the domain of localization is still larger than the gravitational radius of the system ($r_{gr} \sim 10^{-28}$ cm) by many orders of magnitude, the gravitational forces may still be neglected the generalized Gauss theorem is of the form

$$\int E_n ds \cong -4\pi g. \tag{30}$$

In other words, there arises a purely electrodynamic analog of the Gauss theorem with all its consequences, in particular, and with respect to the baryon field of a system of neutrons, i.e. the vector meson field. If such a system was brought into a collapsing state then, in virtus of (30), this black hole would possess baryon "hair".

The assertion that outside a black hole the vector flux E_n vanishes implies that inside the black hole this flux vanishes too when approaching the surface of the event horizont. This means that the "field charge" integrated over the internal space of the black hole increases in some way to the extent that it becomes able of compensating the disappearance of the potential which has occured outside the black hole. We cannot let the flux E_n vanish near the Schwarzschild sphere without an appropriate increase of the potential inside the black hole.

If we consider the situation with the flux in question in a closed world then it is easy to check that the potential (25) provides vanishing of the flux E_n on the "boundary" for $\chi = \pi$. This possibility is explained by the fact that inside the closed world a term with increasing exponential is added to the expression for the potential. At this expense the density of the "field charge" increases to the extent needed for the baryon charge to be compensated. *In this*

sense the total "baryon charge" (r.h.s. of eq. (27)) *in a closed world is zero. In this sense the closed world is also neutral in the baryon charge, too.* Due to the change of the potential "hair" of the vector meson field goes into the closed world.

The problem arises as to what is the reason for which the integral of the vector meson field potential inside a black hole increases when this object emerges in the process of collapse. The fact is that the boundary conditions at the euclidean infinity for a collapsing system are known to remain unchanged.

In other words, it is impossible to make the external field of a black hole only vanish. We should, figuratively speaking, "drive" it inside the black hole so that to increase the integral $m_v^2 \int \varphi^0 dV$ inside the black hole up to a value which would compensate the total baryon charge (9).

In any case it is still unclear how the generalized Gauss theorem is fulfilled in the process of collapse. It is impossible for the time being to assert that black holes have no external baryon field.

On the other hand, the evidence that black holes have no external vector meson field under definite initial assumptions seems also to be convincing. The initial assumptions for this proof seem also to be quite natural: it is assumed that the weak meson vector field does not change the Schwarzschild metric, that there exists an event horizon and that the potential is finite at the event horizon.

The problem would be completely resolved if we succeeded in finding matchable internal and external solutions. Unfortunately, we have not yet derived an external static solution of the Nordström–Reissner type for the short-range, i.e. meson vector field. Until this programme is realized the above questions cannot be answered. An exact solution of the problem can give rise to some surprises. The example of the scalar field is, in this case, the most instructive one. In the case of the scalar field it is surprising that the event horizon is absent, and in those exceptional cases when it exists the field potential on the Schwarzschild sphere is found to be divergent.

2. THE SCALAR LONG-RANGE FIELD

For the scalar field a problem similar to the Nordström–Reissner one was solved by Fischer [17] a quarter of a century ago. Fischer obtained the metric in the form

$$ds^2 = \left(\frac{Z - Z_0}{Z + Z_1}\right)^p dt^2 - \frac{r^2}{Z^2}\left(\frac{Z - Z_0}{Z + Z_1}\right)^p dr^2 - r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\varphi^2), \tag{31}$$

here

$$Z_{0,1} = (\varkappa^2 m^2 + \varkappa G^2)^{1/2} \mp \varkappa m, \tag{32}$$

G is the scalar charge,

$$p = \varkappa m(\varkappa^2 m^2 + \varkappa G^2)^{-1/2},$$

$$Z(r) = re^{(\nu-\lambda)/2} \xrightarrow[r\to\infty]{} r, \quad g_{00} = e^{\nu}, \quad g_{11} = -e^{\lambda}, \tag{33}$$

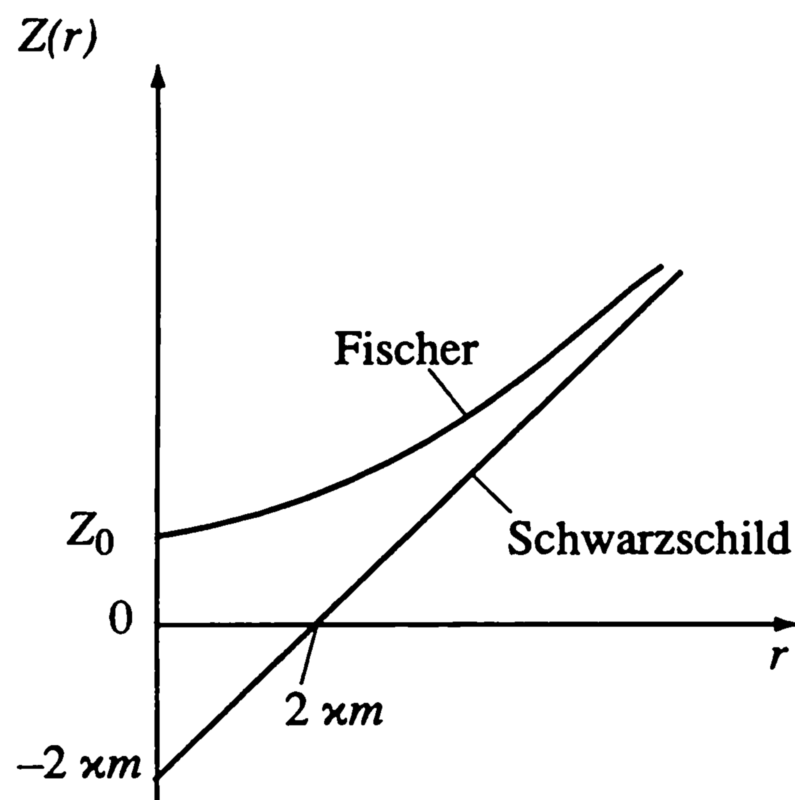


Fig. 1. Fischer's solution for a point source of massless scalar field and the corresponding Schwarzschild solution

and

$$(Z - Z_0)^{1-p}(Z + Z_1)^{1+p} = r^2. \tag{34}$$

The calculations of Fischer were independently obtained by Janis et al. [36]. By a simple transformation the metric of the latter authors transforms into the metric (31). According to (31) g_{11} nowhere becomes infinite. Both g_{11} and g_{00} tend to zero, at $Z \to Z_0$.

Both papers contain some errors in the analysis of the asymptotic behaviour of the metric, but these errors do not concern the form of the linear element (31), which is calculated correctly. The metric (31) provides evidence that in the case of the long-range scalar field the horizon is absent, the Schwarzschild sphere is absent. In this case an object like the black hole is impossible.

It is remarkable that the event horizon is absent for any weak scalar field. But it is interesting that the transition to the limit (for a scalar charge $G = 0$) transforms finally the metric (31) to the Schwarzschild metric although not continuously.

In fact, for $G = 0$,

$$p = 1, \quad Z_0 = 0,$$

$$Z_1 = 2\varkappa m, \quad Z + 2\varkappa m = r. \tag{35}$$

Inserting the values for $G = 0$ in the expression (31), we obtain the Schwarzschild metric. The metric (31) at $r \to 0$ and $G \to 0$ behaves in a nonanalytic way: Z as $r \to 0$, tends to zero too, but at the very limit ($r = 0$) according to (35), Z assumes by jump the value (see Fig. 1)

$$Z = -2\varkappa m. \tag{36}$$

It the external metric (31) is considered as valid for arbitrary small distances, then at $r \to 0$ there arises the case of a bare singularity with all serious consequences following from it.

Such a behaviour of the metric for small r testifies rather in favour of the invalidity of the metric (31) in vacuum for any small r.

It is appropriate to give certain simple considerations which stress particular features of the systems charged by the scalar field source. Let the bare mass of a matter distributed over a domain of radius r_0 be M_0 and the total scalar charge be given by G. Generalizing to this case the well-known relation [19] for the total mass we get

$$M_{\text{tot}} = M_0 - \frac{\varkappa M_{\text{tot}}^2}{2c^2 r_0} - \frac{G^2}{2c^2 r_0}, \tag{37}$$

or

$$M_{\text{tot}} = -\frac{2r_0c^2}{\varkappa} + \left(\frac{4r_0^2c^4}{\varkappa^2} + \frac{2r_0c^2M_0}{\varkappa} - \frac{G^2}{\varkappa}\right)^{1/2}. \qquad (38)$$

According to (38), the total mass of the system vanishes for

$$r_{\min} = \frac{G^2}{2M_0c^2}. \qquad (39)$$

The system in question cannot be localized in the domain $r < r_{\min}$. Here we meet one of the numerous peculiar properties of the scalar field.

From the above considerations concerning the mertic (31) and the specific properties of the scalar field we draw the conclusion that the problem of the scalar field in the process of collapse (let us be careful) is still waiting for its solution. All the aspects of this problem will be clarified when one finds the internal solution of a collapsing system (taking into account the effect of the scalar field on the metric) and the external solution matched with it, and, which is essential, *outside the framework of perturbation theory*.

This problem is essentially nonstatic. It becomes more complicated by that, contrary to electrodynamics, here the central symmetric motion of matter can give rise to a monopole emission of a scalar field which alters the mass of the system. Above, we were dealing with the scalar field, more exactly, with the traditional equation of the scalar field

$$\nabla_\sigma \nabla^\sigma U = 4\pi j.$$

But there exists another form for the scalar field equation [26, 43]

$$\nabla_\sigma \nabla^\sigma U + \frac{R}{6} U = 4\pi j, \qquad (40)$$

where R is the scalar curvature.

The problem is as to whether certain surprising results of the foregoing consideration may be due to the unfortunate form of the scalar equation or not. Sometimes authors stress that the conformal invariant eq. (40) has some advantages. However, the analysis of the problem with recourse to eq. (40) makes the situation more critical.

In this case the event horizon is also absent.

But in a particular case for

$$G^2 = 3\varkappa m^2 \qquad (41)$$

there arises the event horizon (the Schwarzschild sphere). There arises an external metric of the type (18):

$$g_{00} = e^{\nu} = e^{-\lambda} = \left(1 - \frac{a}{r}\right)^2,$$
$$a = \varkappa m = \left(\frac{\varkappa G^2}{3}\right)^{1/2}. \qquad (42)$$

However, contrary to the electrostatic case, in this metric, the scalar potential on the event horizon surface becomes infinite:

$$U = -\frac{G}{r-a}. \tag{43}$$

In this case we have explicitly a counter-example which provides direct evidence that the black hole possesses an external scalar field.

As far as at the event horizon the potential U becomes infinite then the theorem that the field should vanish outside the black hole is inapplicable to the present case [25]: it is essentially associated with the assumption about the finiteness of the potential on the Schwarzschild sphere.

We should bear in mind that the scalar curvature R in eq. (40) for the given case (in vacuum) vanishes. The equation for the scalar potential takes on the usual form. This fact gives, however, no grounds for concluding that a conformal invariant case of the theory must not differ from the ordinary one.

The matter is that we should consider the system of equations as a whole, while the Einstein equations have in this case, essential differences. So, one of the Einstein equations, in the writing $G_\mu^\nu = -8\pi\varkappa T_\mu^\nu$ is of the form

$$\left(1-\frac{\varkappa U}{3}\right)\left(\frac{1}{r^2}-\frac{\lambda'}{r}-\frac{e^{-\lambda}}{r^2}\right) = -\frac{\varkappa}{3}U'^2 - \varkappa\nu' U^2.$$

While, in a nonconformal invariant case:

$$\frac{1}{r^2}-\frac{\lambda'}{r}-\frac{e^{-\lambda}}{r^2} = -\varkappa U'^2.$$

The difference between these equations is a consequence of different expressions for the energy-momentum tensor T_μ^ν.

Attempts to consider the problem in a consistent way, find the appropriate internal and external solutions for a nonstatic metric, were made by Price. Unfortunately these attempts were made in the framework of perturbation theory, under the assumption that it is possible to disregard the effect of the scalar field on the metric. If the metric (31) holds then this consideration is invalid. When using perturbation theory we should bear in mind that the peculiarity of the metric (31) consists in that the event horizon disappears for any value of the charge of the scalar field, for the exception of the limiting value $G = 0$. However, using a particular example, the author comes to the conclusion that any catastrophic values of the scal'ar potentials do not arise at the horizon. But one should bear in mind that the properties of the scalar field are very peculiar [28], and the particular example considered by the author is not free of objections [40]. Besides, there is an explicit counter-example (42). This example gives also evidence for the invalidity of perturbation theory since any small violation of eq. (41) results in vanishing of the horizon.

The instability of this solution recalls the instability of the Papapetrou solution. In fact, any small violation of the rigorous equality of gravitational attraction and electro-

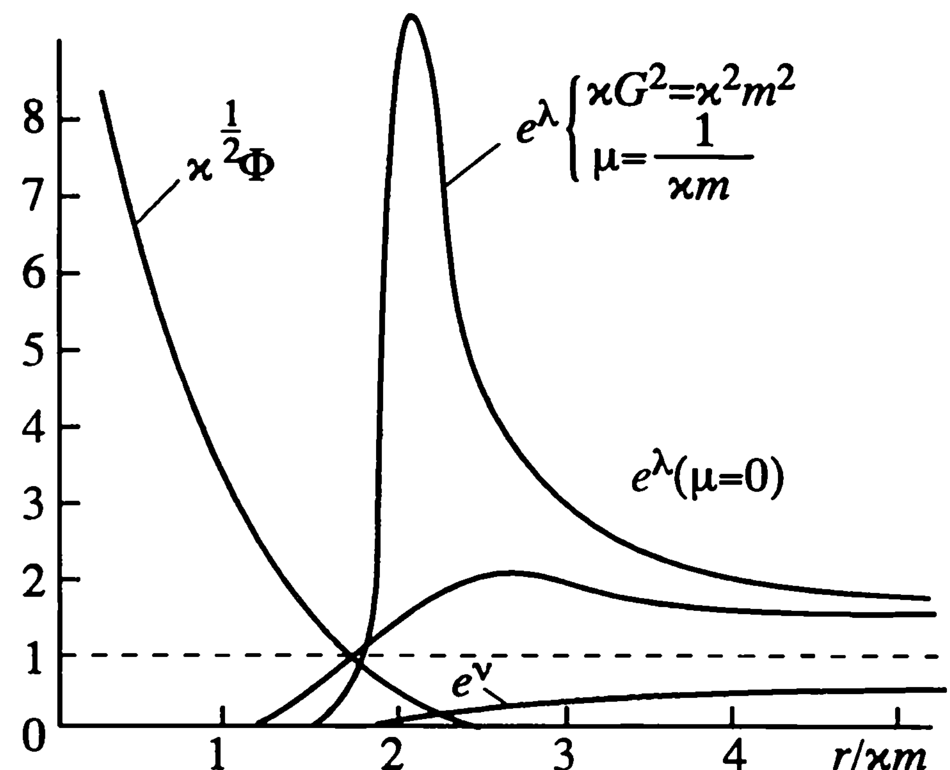


Fig. 2. $g_{00} = e^{\nu}$ *and* $g_{11} = -e^{\lambda}$ *in the case of scalar field of a point source of mass* μ. e^{ν} *and* e^{λ} *are equal to zero at* $r \to 0$

static repulsion leads to a collapse. But the main point is that there is an explicit counter-example (43).

The most essential critical remark that can be made concerning the metric (31) is the following. It is doubtful whether the consideration of a purely static problem in the collapse of a matter charged by the scalar field sources is valid. The possibility of a monopole radiation of the scalar field can just change essentially the situation.

It may be noticed that the consideration of long-range scalar forces is of purely abstract interest, since it is very likely that this kind of forces does not exist in nature. May be, of more importance are the short-range scalar fields, scalar meson fields. Recently, these fields have been discussed in elementary particle theory and are of fundamental importance when attempting to construct a unified theory of weak and electromagnetic interactions [51]. But the monopole radiation of scalar mesons in the process of collapse can be arbitrarily strongly suppressed by the large mass of the quanta of this field, and thus in this case the reproach for ignoring monopole radiation is cancelled. Moreover, the Price considerations about the role of the effective potential barrier are no longer applicable to this "short-wave" field.

The finding of the external metric of a spherical symmetric source of the meson scalar field still encounter unsolved difficulties.

Recently Asanov [3] obtained a numerical solution for the system of the Einstein equations and the Klein equation

$$\left(\nabla_{\sigma}\nabla^{\sigma} + \frac{\mu^{2}c^{2}}{\hbar^{2}}\right)U = 4\pi j, \tag{44}$$

for the spherical symmetrical case we are interested in.

The numerical solution was found for the following values of the parameters

$$\varkappa G^{2} = \varkappa^{2}m^{2}, \quad \mu = \frac{1}{\varkappa m} = \frac{1}{\varkappa^{1/2}G}. \tag{45}$$

The results of calculations are given in Fig. 2. The function e^{λ} of its values at infinity ($e^{-\lambda} \approx 1 - (2\varkappa m/r)$) increases smoothly and reaches its maximum ($e^{\lambda} \approx 9{,}5$) near "the gravitational radius" $r_{gr} = 2\varkappa m$. Then e^{λ} falls tending smoothly to zero for $r = 0$. The function e^{λ} is equal to unity for $r \approx 1{,}8\varkappa m$. The function e^{ν} is monotonous, it is equal to zero for $r = 0$ and to unity at the spacial infinity.

If we assume that at present the existence of the black hole is confirmed by experimental data, and that on the other hand, the above theoretical results concerning the specific

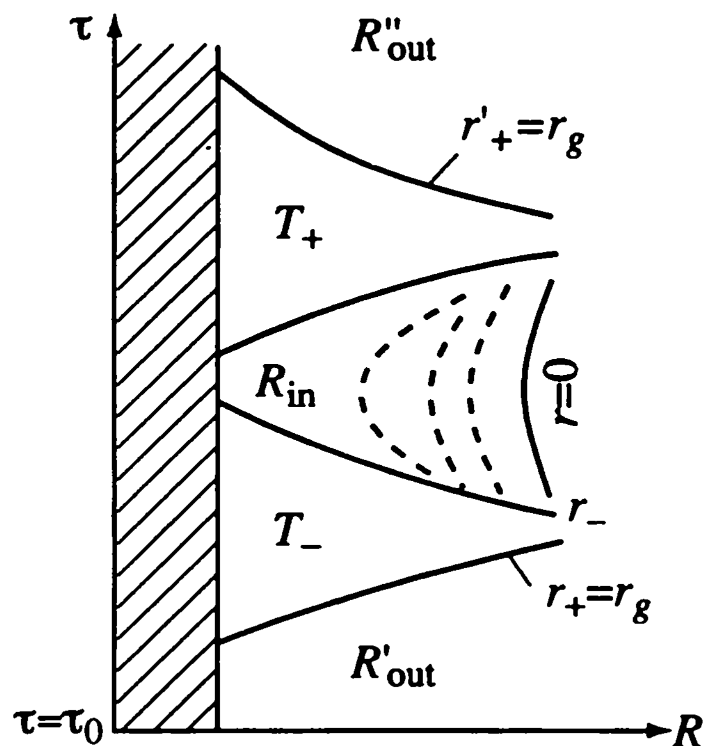


Fig. 3. The evolution of a charged sphere after collapse behind the Schwarzschild surface without taking into account the process of pair creation

properties of the scalar field, incompatible with the existence of black holes, are valid, then we should conclude that the presence of black holes would testify to the absence of scalar mesons in nature. This would mean that the well-known theoretical attempts trying to unify weak and electromagnetic interactions on the basis of symmetry breaking are groundless. And, on the contrary, if the presence of scalar mesons is confirmed by experiment then the objects which at present are thought of as black holes will be interpreted in some other manner. In the theoretical aspect we should be led to the conclusion that in real situations there never arise $T_{\pm}$ domains the possibility of which we have already got accustomed to, and the metrics of Fig. 3 becomes much simpler. At the same time, there arise objects close to bare singularities with all the consequences resulting from this. In general, the "price" of the proof of the validity or invalidity of the static metric (31) up to distances smaller than the gravitational radius is very high, and we should be very careful in estimating all arguments for and against. The numerical solution for, e.g. a model with scalar and electrostatic field sources, shows that up to $r = 0{,}9\varkappa m$, where $e^{\lambda} > 1$ and it is possible to match the internal and external solutions, the horizon is absent [2].

3. THE NEUTRINO FIELD

The situation with neutrino forces is far more complicated. In fact, if there is a direct interaction of the type ($e\nu$) ($e\nu$) then the system consisting, e.g. of hydrogen should induce in the surrounding space a neutrino-antineutrino field with potential [46]:

$$B \sim \frac{1}{r^5}.$$

There is a direct calculation [30] for the vector-pseudovector case, where it is shown that when neutrino field sources come nearer the Schwarzschild sphere the neutrino field in the external space tends to zero. But the calculation of the scalar case by this method does not result in the disappearance of neutrino hair outside the black hole. Moreover, for a point of neutrino forces of the vector case localized at the point $\chi = 0$ of a closed world, as in electrostatics, there arises a mirror image of the source for $\chi = \pi$.

In other words, one would think that the appropriate neutrino hair should not disappear. On the other hand, it would seem that Hartle [29] gives for the Kerr metric a general proof of the absence of the external neutrino field of holes independently of the type of forces. This proof is also valid for the Schwarzschild metric.

If in further investigation we do not find errors in the calculations for the scalar case then the general consideration of Hartle contains some defects.

Unfortunately, the field under discussion is not the solution of some equation of the Maxwell type, and the conservation law for leptons is not associated with any analog of the Gauss theorem. It appears that in the case of the neutrino field, as in the foregoing cases of meson fields, the ultimate solution for the behaviour of these fields outside black holes arises in the process of finding matchable internal and external solutions for the systems in questions.

The foregoing consideration of the external metrics of black holes with different charges should be supplemented with one general, and in our opinion, essential remark.

In fact, as yet studies have not been made of the inverse process, process of formation of hair (e.g. vector meson field, scalar field), which inevitably occurs in the process of anticollapse when matter goes out of the Schwarzschild sphere.

4. BLACK HOLES AS INTERMEDIATE STATES IN ELEMENTARY PARTICLE THEORY

We are not aware of whether black holes exist in nature. But there are some grounds to suppose that these objects and the corresponding notions may turn out to be essential in elementary particle theory.

In fact, in contemporary theory of elementary particles the calculation of proper masses leads to divergent values. This is due to the fact that the intermediate states in these calculations may have energy, and consequently, mass of arbitrary large values.

In contemporary elementary particle theory a striking violation of logic became historically legitimate: one introduces in consideration intermediate states with arbitrary large masses and, at the same time, entirely ignores their gravitational effects. It is of special importance that these masses must be localized in a very small domain so that there arises the possibility of huge gravitational mass defects capable of changing in a cardinal manner the energy spectrum of intermediate states.

In fact, if a particle in the intermediate state emits a quantum of mass $m = \hbar\nu / c^2$ then, according to the Heisenberg relation[3], this mass is localized in the domain

$$l \sim \frac{\hbar}{mc}, \quad \text{or} \quad m = \frac{\hbar}{lc}. \tag{46}$$

When a mass of the order of

$$m \sim \left(\frac{\hbar c}{\varkappa}\right)^{1/2}$$

appears in the intermediate state, then the gravitational radius of this system is

$$r_{gr} = \frac{2\varkappa m}{c^2} = \frac{2(\varkappa\hbar c)^{1/2}}{c^2}. \tag{47}$$

[3] When emitting a quantum of an energy $E = \hbar\nu$ a particle, using the Fermi terminology, "borrows" an energy $E = mc^2$. According to the uncertainty relation, the time of "borrowing" may not be longer than $\hbar / mc^2$. During this period the emitted quantum can go away from the particle not far than at a distance $\sim \hbar / mc$.

On the other hand, with this mass the dimension of the domain in which, according to (46), the mass is localized

$$l \sim \frac{\hbar}{mc} \sim \frac{(\hbar c \varkappa)^{1/2}}{c^2} \tag{48}$$

coincides with the gravitational radius of the object in this state. With further increasing intermediate state energy the gravitational radius should have increased. But, on the other hand, the domain of localization of the intermediate state energy should, according to the Heisenberg relation, have decreased and for $m > (\hbar c / \varkappa)^{1/2}$ should have became smaller than the gravitational radius.

If such a situation arose in the range of applicability of classical physics we would say that we are dealing with a system, whose mass is behind the gravitational Schwarzschild sphere. In other words, we would imply a system in the collapsing state. This might be either the state of black hole of the first kind or rather the state of systems with semi-closed matric if the bare mass of the intermediate state decreases strongly due to gravitational defect. From this viewpoint it would seem that the states of semi-closed systems or the states of black holes must belong to the complete set of states that can arise spontaneously in these cases. Moreover, energetically these states are the lowest states. Although at present we do not know to what extent our understanding of the metric remains valid in this state. However, in modern theory one got accustomed to use the euclidean metric at arbitrary small distances from the point particle. If black holes have really no hair then in the spectrum of the mediate states such states must in a cardinal manner affect the results of calculations, since in these states there are no longer interactions with the given field.

APPENDIX 1

(The role of the vector meson field in a distant stage of collapse of stars)

Novikov [14] considered the evolution of a charged sphere after collapse behind the Schwarzschild sphere. The spacetime picture of this evolution is given by Novikov in Fig. 3 in the Kruscal type coordinates. The region occupied by matter is shaded.

In the course of contraction its boundary crosses the Schwarzschild sphere. For a charged sphere of mass M and charge ε

$$r_{\mathrm{gr}} = r_+ = \frac{\varkappa M}{c^2}\left[1 + \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{\varkappa M^2}\right)^{1/2}\right],$$

where $\varkappa$ is the gravitational constant, c – the light velocity. From the external domain (R'_{out}) the system falls in a contracting T_--domain.

For the sizes

$$r_- = \frac{\varkappa M}{c^2}\left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{\varkappa M^2}\right)^{1/2}\right]$$

contraction can be changed by expansion. This occurs in the internal (R_{in}) domain. After passing the expanding T_+-domain the sphere boundary crosses again the Schwarzschild sphere and goes out in the external (R''_{out}) domain (see Fig. 3). However, as is seen from the figure, the domain R''_{out} is not the same in which the contraction of the sphere occurs. The R''_{out}-domain lies in an absolute future with respect to R'_{out}. The peculiarity of the situation consists in that the behaviour of the system after crossing the surfaces r_- is not defined by the initial conditions in the R'_{out} space. Thus, in mechanics there first arises the possibility for the Laplace determinism to be violated[4].

As it happens always in these cases, congenial scientific conservatism searches naturally for possibilities of solving the problem in some other way, namely in the framework of usual regularities. It is a cruel necessity alone that can affect in a cardinal way the existing viewpoints.

In fact, it seems that there is such a natural possibility. The matter is that in the process of contraction of a charged sphere there arise outside it electric fields of a so high intensity that *a purely classical consideration of the problem neglecting the production of different kinds of charged particle pairs in these fields is quite inadmissible.*

In fact, for $\varepsilon^2 \ll \varkappa M^2$, due the process of contraction, a charged sphere on the boundary of the T_--domain acquires dimensions $r_- \sim \varepsilon^2/2Mc^2$.

The electric potential on the surface of this sphere should have taken the value:

$$V \sim \frac{\varepsilon e}{r_-} = Mc^2 \frac{e}{\varepsilon}, \quad \text{or} \quad eE = \frac{\varepsilon e}{r_-^2} = \frac{eM^2 c^4}{\varepsilon^3}.$$

For $M = M_\odot \sim 10^{34}$ gr, $\varepsilon < 10^{20}\, e$.

In other words, the electrostatic field energy, localized outside a sphere of radius r, turns out to be equal to the total energy of the system. However, in reality, such a potential cannot be realized due to electron-positron pairs production effect. Electron-positron pairs are produced long in advance until the charged sphere reduces to dimensions r_-.

Thus, the situation arises when because of production of new particles we are deprived of the convenient *comoving coordinate system* for describing the process of collapse and, moreover, the classic space-time description losses its meaning when a pair emerges, electrons and positrons may be spaced from one another by an essential space-like interval [7]. It is possible that electrons should not reach the surface r'_- if (for instance) in T_--, and R_{in}-domains will appear a charge of opposite sign [15] or the all picture may be essential the other.

It should be noticed that the inclusion of the electric charge in the system is a very artificial method and bears no direct relation to a really collapsing star. However, the really collapsing star is immediately associated with the meson vector field.

The vector meson field is a short-range one, therefore until a collapsing system turns out to be contracted up to dimensions of the order $\hbar / m_v c$ (m_v – the vector meson mass), this

---

[4] The reference of Penrose [43] to the fact that in quantum theory we have got accustomed to indeterminism is a misunderstanding: the behaviour of the wave functions is completely defined by the initial data.

field may not be of importance in the process of collapse. However, with further contraction ($r < \hbar / m_\upsilon c$) the vector field becomes practically a long-range one, but at the same time it is stronger than the electromagnetic field. The meson field is capable of producing nucleon-antinucleon pairs.

The model of the electrically charged sphere has the shortcoming that the electric charges are, in this model, a mechanical admixture to neutral matter. Strictly speaking, the whole previous consideration of collapse of electrically charged matter is meaningful when each particle of this matter is electrically charged.

In the case of an electrically neutral star, each of its nucleons is a carrier of the meson vector field charge.

It should also be added that the collapsing mass of a star of the order of the solar mass has a density $\rho \sim 10^{72}$ gr · cm^{-3} at dimensions $\sim \hbar / m_\upsilon c \sim 10^{-13}$ cm which is by 20 orders of magnitude smaller than the critical "quantum" density at which, as one hopes without any definite grounds, collapse of a star can change by anticollapse. Thus, there are serious grounds to assume that the appearance of R_{in} and R''_{out} in Fig. 3 and the violation of the Laplace determinism is a consequence of an abstract approach to the process.

It is remarkable that the critical density $\rho_q \sim 10^{93}$ gr · cm^{-3} would be reached for collapsing masses

$$m \sim \rho_q \left(\frac{\hbar}{m_\upsilon c} \right)^3 \sim 10^{55} \text{ gr},$$

i.e. of the order of the mass of the whole Universe.

APPENDIX 2

A possible appearance of a semi-closed metric in the process of anticollapse (in particular, white holes) was considered by Frolov [18].

Frolov considered a more general case of motion of a massive charged, radiating spherically symmetrical shell. The external metric of a radiating system found by Vaidya [49, 50] was used in his paper. The equations of motion of the shell are derived following Israel [34, 35]. A detailed analysis is given for the case, when radiation occurs during a short period of the proper time. In this case the connection is found of the parameters of the system before and after radiation or absorption of both energy and charges of the system.

The effect of these processes on the total mass of the system for different types of the shell (anticollapse, collapse, usual motion) is analysed. It is shown that in the case of an open system with small charge, a transition to semiclosed state can occur due to energy radiation. If the radiation transfers the charge, then the final states can have the freidmons metric.

REFERENCES

1. *Амбарцумян В.А.* // Вопр. космологии. 1962. Т. 8. С. 3.
2. *Асанов Р.* Препринт Р-6564 / ОИЯИ. Дубна, 1972.
3. *Асанов Р.* Препринт Р2-7320 / ОИЯИ. Дубна, 1973.

4. *Березин В.А., Марков М.А.* // ТМФ. 1970. Т. 3. С. 161.
5. *Зельдович Я.Б.* // Там же. Т. 43. С. 1937.
6. *Зельдович Я.Б.* // ЖЭТФ. 1962. Т. 42. С. 641.
7. *Зельдович Я.Б.* Препринт № 1 / ИПМ АН СССР. М.,1971.
8. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1966. Т. 51. С. 878.
9. *Марков М.А., Фролов В.П.* // ТМФ. 1970. Т. 3. С. 1, 3.
10. *Марков М.А., Фролов В.П.* // Там же. 1972. Т. 13. С. 41.
11. *Марков М.А., Фролов В.П.* // Там же. 1973. Т. 16, № 1. С. 70–75.
12. *Новиков И.Д.* // Вестн. МГУ. Сер. 3, Физика, астрономия. 1962. № 5.
13. *Новиков И.Д.* // Астрон. журн. 1964. Т. 41. С. 1975.
14. *Новиков И.Д.* // Письма в ЖЭТФ. 1966. Т. 3. С. 223.
15. *Новиков И.Д.* // ЖЭТФ. 1970. Т. 59. С. 262.
16. *Сахаров А.Д.* Препринт № 7 / ИПМ АН СССР. М., 1971.
17. *Фишер И.* // ЖЭТФ. 1948. Т. 18. С. 636.
18. *Фролов В.П.* Препринт / ФИАН СССР. М., 1973.
19. *Arnowitt R., Deser S., Misner C.* // Phys. Rev. 1960. Vol. 120. P. 313.
20. *Bardeen J.M.* // Bull. Amer. Phys. Soc. 1968. Vol. 13. P. 41.
21. *Bekenstein J.D.* // Phys. Rev. Lett. 1972. Vol. 18. P. 452.
22. *Bekenstein J.D.* // Phys. Rev. D. 1973. Vol. 7. P. 949.
23. *Blokhintsev D.I.* // Nuovo cim. 1960. Vol. 16. P. 382.
24. *Carter B.* // Phys. Lett. 1966. Vol. 21. P. 423.
25. *Chase J.* // Commun. Math. Phys. 1972. Vol. 19. P. 276.
26. *Chernikov N.A., Tagirov E.A.* // Ann. Inst. Poincare. 1968. Vol. 9. P. 1507.
27. *De la Cruz V., Israel W.* // Nature. 1967. Vol. 216. P. 148, 312.
28. *Dicke R.* // Gravitation and relativity. N.Y.; Amsterdam: Benjamin, 1964.
29. *Hartle J.* // Phys. Rev. D. 1971. Vol. 3. P. 2938.
30. *Hartle J.* Preprint / Univ. Calif., Santa Barbara, 1971.
31. *Hawking S.W.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1970. Vol. 152. P. 75.
32. *Hawking S.W.* // Phys. Rev. Lett. 1971. Vol. 26. P. 1344.
33. *Hoyle F., Fowler W.A., Burbridge G.R.* Quasi-stellar sources and gravitational collapse. Chicago: Univ. of Chicago press, 1965.
34. *Israel W.* // Nuovo cim. B. 1966. Vol. 44. P. 1.
35. *Israel W.* // Ibid. 1967. Vol. 48. P. 463.
36. *Janis A.I., Newmann E.T., Winicour J.* // Phys. Rev. 1968. Vol. 176. P. 1507.
37. *Klein O.* Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit. Braunschweig: Vieweg, 1961.
38. *Markov M.A.* // Ann. Phys. 1970. Vol. 59. P. 109.
39. *Markov M.A.* Cosmology and elementary particles: (Lecture notes). Trieste, 1971. Pt I/II. (Prepr. Intern. centre for theor. phys.; IC/71/33).
40. *Markov M.A.* Preprint E2-6831 / JINR. Dubna, 1972.
41. *Neeman Y.* // Appl. J. 1965. Vol. 141. P. 1303.
42. *Papapetrou A.* // Proc. Roy. Iris Acad. A. 1945. Vol. 51. P. 191.
43. *Penrose R.* // Structure of space-time. N.Y.; Amsterdam: Benjamin, 1968.
44. *Regge T.* // Nuovo cim. 1958. Vol. 7. P. 215.
45. *Regge T., Wheeler J.A.* // Phys. Rev. 1957. Vol. 108. P. 1963.
46. *Tamm I.* // Nature. 1934. Vol. 134. P. 1010.

47. *Teitelboim C.* // Lett. nuovo cim. 1972. Vol. 3. P. 326, 397.
48. *Thorne K.* Preprint OAP-236, 1971.
49. *Vaidya P.C.* // Phys. Rev. 1951. Vol. 83. P. 10.
50. *Vaidya P.C.* // Nature. 1953. Vol. 171. P. 260.
51. *Weinberg S.* // Phys. Rev. Lett. 1967. Vol. 19. P. 1264.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ*

Гравитационное поле по сравнению с другими физическими полями обладает наибольшей, точнее, абсолютной универсальностью: его возбуждает любая форма материи. Эта универсальность гравитационного поля – фундаментальный фактор, ответственный за то богатство содержания общей теории относительности, разнообразие и значение которого особо быстро и щедро раскрывается в последнее десятилетие как в макроявлениях, так и в микромире.

Возникновение в рамках общей теории относительности все новых мыслимых и, возможно, реальных объектов, новых понятий, образов и не подозреваемых ранее ситуаций заставляет думать о том, что еще очень многое, пока нам неизвестное, может быть обнаружено в процессе дальнейшего изучения следствий абсолютной универсальности гравитационных взаимодействий. И не только универсальности, но и специфичности гравитационного поля – как поля неабелева типа.

В последние годы возникло понимание существенной роли гравитации в образовании таких небесных тел, даже возможность существования которых ранее не обсуждалась (черные дыры, нейтронные звезды и т.д.). Возникло понимание того, что и другие поля и их квантовые эффекты в сильных гравитационных полях играют фундаментальную роль как в образовании, так и в характеристиках новых ультрамакроскопических объектов.

С другой стороны, даже пустое пространство нестатических вселенных, где при преобразованиях времен нарушается инвариантность теории, должно явиться ареной возникновения пар различных элементарных частиц. И, строго говоря, концепция вакуума в общей теории относительности перестала быть столь определенной и четкой, какой казалась прежде. Рождение частиц в нестационарной вселенной, как показывают современные оценки, не может объяснить возникновения всего наблюдаемого количества материи во Вселенной: эпоха Большого Взрыва по-прежнему не находит какой-либо физической интерпретации. Однако не исключено, например, что материя во Вселенной накапливалась в результате ее рождения при многократных осцилляциях (смене расширений и сжатий), а первоначальный взрыв вовсе не требует огромного количества материи, локализованной в бесконечно малом объеме. Он может быть связан с каким-то флуктуационным возникновением первоначальной микровселенной с ничтожно малым содержанием

---

* Вестн. АН СССР. 1979. № 4. С. 70–73.

вещества, которое увеличивалось лишь в процессе осцилляций. Заметим, что в данном случае речь вовсе не идет о каком-то конкретном сценарии происхождения Вселенной: это потребовало бы специальных исследований, в частности термодинамики осциллирующей вселенной. Мы пока не знаем, как описывать состояние материи в эпоху максимального сжатия. Перед нами лишь пример той новой ситуации в общей теории относительности, которая возникает в связи с рассмотрением квантовых свойств материи.

В рассматриваемых в настоящее время взаимодействиях гравитационного и других физических полей появляются и многие другие проблемы концептуального характера. Так, в связи с судьбой конечного состояния черных дыр всплывает вопрос о сохранении барионного и слабого зарядов. Возникает проблема стабильности или нестабильности элементарных черных дыр, т.е. таких объектов, которые являются естественной (стабильной или нестабильной) границей распадающейся черной дыры, – если, конечно, подвергнуть сомнению, исходя из соображений квантовой теории, существование черных дыр с массой, меньшей чем $m_0 \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa}}$. Эта проблема важна и потому, что вопрос о существовании стабильных или нестабильных элементарных черных дыр может иметь отношение как к проблеме верхнего предела спектра масс элементарных частиц, так и к ряду других космологических проблем.

Решения уравнений общей теории относительности, найденные О. Клейном, допускают возможность возникновения элементарных черных дыр как миров с почти замкнутой метрикой – фридмонов (случаи, когда переменная Фридмана лежит в пределах $0 < \chi_{max} < \pi - \delta$, где δ мало). Исчезновение таких объектов означало бы замыкание соответствующего мира Фридмана, а их квантовая стабильность – невозможность возникновения замкнутой метрики.

Исчезновение многих внешних полей в процессе образования черных дыр, термодинамизация характеристик последних ставят фундаментальные вопросы о роли наблюдателя в описании физического мира явлений, побуждая к дальнейшему обсуждению копенгагенской интерпретации квантовой механики. Так, известные проблемы описания с помощью ψ-функции волновой механики возникают в космологии замкнутых вселенных и при формулировке метода S-матриц.

Идеи асимптотической свободы взаимодействий, включая гравитационные, видимо, необычным образом изменят возможные представления о состояниях материи во времена, близкие к моменту Большого Взрыва, а также представления о конечном состоянии коллапсирующих небесных тел. Не исключено, что в последнем процессе роль, препятствующую возникновению сингулярности, могут сыграть интенсивные процессы излучения (в частности, рождение пар элементарных частиц) с поверхности коллапсирующего объема материи, лежащего глубоко под сферой Шварцшильда. Во всяком случае, пока нет ясности относительно характера и роли процессов, протекающих под сферой Шварцшильда.

Возникновение идей суперсимметрии – многообещающего направления в создании общей теории материи – породило и конкретные варианты теории супергравитации. Однако физическое содержание последних и их отношение к тради-

ционной теории гравитации находятся пока в начальной стадии исследования. В настоящее время еще нельзя сказать, является ли суперсимметричная теория полей той конечной формой единой теории поля, о которой мы мечтаем, или же это только ступень к еще более общей – спинорной – теории материи (так как с появлением спиноров в теории материи возникло понимание, что величины с любыми трансформационными свойствами – скаляры, векторы, тензоры – могут быть построены из спиноров). Ситуация существенным образом обострится, а может быть, и прояснится, если за унитарным пределом слабых взаимодействий не окажется промежуточного мезона.

С другой стороны, становится все более и более вероятным, что гравитация может сыграть фундаментальную роль в теории элементарных частиц в тех случаях, когда оставшиеся расходимости носят логарифмический характер. Это существенно, поскольку практика вычисления собственных энергий в теории элементарных частиц, когда принимаются во внимание огромные (бесконечно большие) значения энергии в промежуточных состояниях, локализованные в малых областях, и вместе с тем полностью пренебрегается гравитационным самодействием, пока остается привычной бессмыслицей. Если же в объединенном варианте теории всех полей обнаружатся неудаляемые расходимости более высокого порядка, чем логарифмический, то повысится значение идеи о "тяжелой" гравитации тензорного, а может быть, и скалярного типа с большой гравитационной константой, когда квантом поля становится "тяжелый" гравитон.

Проблема перенормировки в моделях единых теорий полей приобретает свое особое содержание. Возможны случаи неперенормируемых, но в то же время конечных, лишенных привычных расходимостей теорий.

Известный интерес представляют различные направления неконвенциальных теорий гравитации. Дело в том, что экспериментальная проверка общей теории относительности касалась, как известно, случаев слабого гравитационного поля. В этой области эксперименту могут соответствовать, по-видимому, различные неконвенциальные варианты этой теории. Теория гравитации в области сильной нелинейности еще ждет своих экспериментальных данных. Да и в традиционной теории гравитации остались многие проблемы, по поводу которых нет единого мнения у физиков. В частности, это касается принципа Маха в его различных формулировках.

В общей теории относительности своеобразные концептуальные проблемы возникают уже в классической теории элементарных частиц. Если считать (а для этого есть основания в общей теории относительности), что частица с нулевой массой не может быть точечной, т.е. что в классической теории частиц с учетом гравитации нет ультрафиолетовых расходимостей, то встает проблема нелокальности уже в классической (не квантовой) теории. Эта проблема становится реальной уже в классической динамике черных дыр. Кажется непростым делом описать процесс взаимодействия черной дыры как объекта в целом и ее движение под действием внешних полей. Особые трудности возникают тогда, когда при описании взаимодействия мы вынуждены пользоваться шварцшильдовскими координатами, в которых взаимодействие достигает сферы Шварцшильда лишь за бесконечно большое для внешнего наблюдателя время.

Если в классической (не квантовой) теории гравитации, в отличие от известных классических теорий полей (например, электромагнитного поля), действительно отсутствуют известные расходимости, то для квантовой теории гравитации имеет значение лишь такой вопрос: возникают ли при квантовании гравитационного поля расходимости, отсутствующие в его классическом, не квантовом варианте?

Уже из изложенного выше следует, что в настоящее время проблемы ультрамакроскопического мира теснее увязываются с проблемами микромира. Ведь нейтронная звезда представляет собой макроскопическую среду ядерной материи со многими специфическими свойствами, с которыми мы ранее встречались при изучении атомных ядер. И трудно сказать, является ли состояние материи в эпоху Большого Взрыва предметом физики макромира или же эта область принадлежит ультрамикромиру, где проявляется специфическая физика материи на ультрамикрорасстояниях.

Общая теория относительности, которая всегда считалась примером чисто абстрактных, умозрительных построений, основанных на очень далеких экстраполяциях, богатых неоднозначными вариантами, постепенно становится наукой, где эксперимент начинает играть существенную роль в ограничении вариантов. Так, уже экспериментальные обнаружения эффекта красного смещения и реликтового фотонного излучения сильно уменьшают число возможных сценариев происхождения и эволюции нашей Вселенной.

Обнаружение реликтового фотонного излучения, исследование пределов его изотропии способны дать важные сведения об определенном этапе в развитии Вселенной. Но сам факт открытия реликтового фотонного излучения наводит на мысль о возможности реликтового нейтринного или даже гравитационного излучения. Здесь экспериментальные возможности кажутся пока фантастически нереальными, но, как нас учит история науки, действительность всегда фантастичнее самой необузданной человеческой фантазии.

Общая теория относительности становится все более и более экспериментальной областью науки. Большой экспериментальный вклад в нее, видимо, внесет в будущем нейтринная астрономия. Нейтрино, благодаря высокой проникающей способности и низкой поглощаемости в материи, может в принципе донести до нас сведения о самых отдаленных объектах нашей Вселенной, сведения об объектах, принадлежащих далеким во времени ее состояниям.

Эксперимент вплотную подходит к возможностям детектирования гравитационных волн. Конечно, речь не идет о детектировании реликтового гравитационного излучения, которое в принципе сводится к детектированию коротких звуковых волн – точнее, одиночных фононов в веществе. Но осторожности ради не будем утверждать, что это никогда не станет возможным. Ведь мы пока не в состоянии предвидеть то новое, что обещает науке возникновение гравитационной астрономии будущего.

Следует заметить, что в понимании основ мироздания мы в некотором смысле не очень далеко ушли от древних греков. Если древние греки рассматривали природу в виде совокупности четырех стихий (земля, вода, воздух, огонь), то и мы рассматриваем мироздание как сосуществование также четырех "стихий" – сильных, электромагнитных, слабых и гравитационных полей. Так же как и древние, мы

пока не проникли в ту суть вещей, которая дается пониманием внутреннего единства этих "стихий" XX столетия. Правда, в последнее время в связи с идеями Вейнберга–Салама возникли реальные надежды понять единство слабых, электромагнитных и, возможно, сильных взаимодействий. Постепенно складывается убеждение в том, что нельзя исчерпывающим образом описать какое-то одно из четырех полей, не принимая во внимание наличие других, что природа построена, так сказать, без неоправданной, излишней роскоши. Понимание органического единства всех полей, включая поле гравитационное, является той задачей, к решению которой стремится и будет стремиться наша наука.

МАКСИМОНЫ И ГИПОТЕЗА МАКСИМОННЫХ РОЕВ*

В работах [2, 4, 5] была высказана гипотеза о возможности существования стабильных частиц с массой $m_{\rm Pl} \sim (\hbar c / G)^{1/2} \sim 10^{-5}$ г ("максимонов") и рассмотрены особенности взаимодействия таких частиц с веществом. Вследствие чрезвычайно малого сечения взаимодействия максимонов с обычным веществом ($\sigma_{\rm Pl} \sim 10^{-66}$ см^2) непосредственными наблюдениями, по-видимому, невозможно запретить ситуацию, когда практически все ненаблюдаемое вещество, определяющее метрику Вселенной в настоящее время, состоит из максимонов [5]. Цель настоящей работы – обратить внимание на возможность существования (в рамках гипотезы о стабильности максимонов) принципиально нового класса небесных тел. Речь идет о долгоживущих гравитационно-связанных системах максимонов ("максимонных роев") и о некоторых специфических свойствах подобных систем. Подобные системы с необходимостью должны возникать в результате гравитационной неустойчивости из неоднородностей на ранних этапах развития Вселенной, если только в момент Большого Взрыва максимонная составляющая вещества была значительной[1].

Предположим, что в некоторый момент времени возникла система с массой $M = Nm_{\rm Pl}$, состоящая из N максимонов, каждый из которых совершает финитное движение в общем гравитационном поле всех остальных масс. Оценим время жизни такой системы. Пусть R – размер системы, тогда средняя скорость движения максимонов в рое (дисперсия скоростей), $v \sim (GM / R)^{1/2}$ и средний период финитного движения $T \sim R/v \sim R^{3/2}(GM)^{-1/2}$. Характерное время τ_0 между двумя близкими сближениями данного максимона с другим максимоном роя, при котором происходит существенное изменение направления его движения (рассеяние на угол $\theta \sim 1$) порядка $\tau_0 \sim RN/v \sim M^{1/2}R^{3/2}G^{-1/2}m_{\rm Pl}^{-1/2}$. Время столкновительной релаксации

* Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 29, вып. 6. С. 372–374. Соавтор *В.П. Фролов*.

[1] По крайней мере в рамках холодной модели Вселенной предположение о том, что на ранних стадиях имелось значительное количество стабильных максимонов может, по-видимому, не привести к противоречию с современными наблюдательными данными.

такой системы есть $\tau = \tau_0\Lambda^{-1}$, где множитель $\Lambda \sim 10 \ln N$ связан с наличием неэкранируемых, медленно убывающих с расстоянием гравитационных сил. Рассматриваемая задача аналогична задаче об эволюции звездных скоплений (см., например, [1, 3]). Время τ является характерным временем установления квазимаксвелловского распределения из-за столкновений частиц. В результате перераспределения по энергиям в рое через время τ появляются максимоны, обладающие достаточной энергией, чтобы покинуть рой, в результате чего система теряет энергию. Характерное время этой диссипации (время жизни максимонного роя) есть [1] $\tau_l \sim 30\tau \sim R_g^2 a^{3/2}(cl_{Pl} \ln N)^{-1}$, где $R_g = 2GM/c^2$ – гравитационный радиус роя, $l_{Pl} = (G\hbar/c^3)^{1/2}$ и $a^{-1} = R_g/R = 2\phi/c^2 \sim v^2/c^2$. При $a \gg 1$ движение частиц роя нерелятивистское $v^2 \ll c^2$ и характерное время диссипации энергии за счет гравитационного излучения $\tau_g \sim a^5 R_g^2 (l_{Pl}c)^{-1}$ много больше τ_l.

В результате диссипации энергии внутренняя структура максимонного роя постепенно изменяется. Максимоны, приобретающие энергию, близкую к порогу испарения, получают возможность двигаться по орбитам все большего размера. В последнем столкновении, перед вылетом максимона из роя, он в среднем получает энергию, много меньшую $m_{Pl}v^2/2$, и поэтому на протяжении большей стадии эволюции роя его энергия GM^2/R остается практически неизменной. Потеря массы роем приводит к уменьшению его размеров $R \sim M^2$. При уменьшении первоначальной массы M в a раз размер роя может стать порядка его гравитационного радиуса, что может привести к образованию черной дыры с массой $M_1 = M/a \sim GM^2/Rc^2$. Если при этом окажется, что $M_1 < 5 \cdot 10^{14}$ г, то образующаяся черная дыра за время, меньшее времени жизни Вселенной, распадается в результате квантовых процессов рождения частиц.

Сравнивая время жизни роя τ_l с временем жизни Вселенной, нетрудно получить, что до настоящего времени могли дожить максимонные рои, возникающие на ранних этапах эволюции Вселенной, если только их параметры удовлетворяют условию $Ma^{3/4} \gtrsim 10^{26}$ г.

Аккреция окружающего вещества на рой приводит к его "загрязнению". Поскольку при $a \gg 1$ $v^2/c^2 \sim a^{-1} \ll 1$, то движение частиц, захваченных роем, является нерелятивистским. Чтобы оценить количество вещества, захватываемое роем при его "загрязнении", предположим, что захваченное вещество, состоящее из нуклонов, образует нерелятивистский вырожденный газ. В этом случае если плотность числа захваченных нуклонов внутри роя есть n, то характерная энергия невырожденного газа внутри роя есть $E \sim \left(\hbar^2 n^{5/3} V/2m\right) - mNc^2a^{-1}$. Здесь N – полное число частиц, $V \sim R^3$ – объем роя, m – масса нуклона. Аккреция нуклонов на рой прекращается, когда величина E становится больше нуля. Поэтому характерная плотность нуклонного газа, захваченного роем $\rho_m = mn \sim m\lambda_m^{-3}a^{-3/2} \sim 10^{15}$ (г/см^3) $a^{-3/2}$, где $\lambda_m = \hbar/mc$ – комптоновская длина волны нуклона. При $a \gg 1$ эта плотность

всегда меньше ядерной, и поэтому рассмотренное приближение газа свободных частиц допустимо. Общая масса захваченного роем вещества $M_m \sim \rho_m V \sim m a^{3/2} (R_g / \lambda_m)^3 \sim (10^{-24}\,\text{г}) a^{3/2} (M/10^{15}\,\text{г})^3$ для роя с малой массой $M \ll \ll 10^{35}\,\text{г}\; a^{3/4}$ пренебрежимо мала, $M_m \ll M$.

Движение "загрязненного" максимонного роя приводит к перемещению в пространстве захваченного им нуклонного вещества значительной плотности (например, при $a = 100$ эта плотность всего на 2 порядка меньше ядерной). Из-за малости сечения взаимодействия максимонов регистрация движения этой нуклонной составляющей, связанной с максимонным роем, представляется, по-видимому, более простой задачей, чем непосредственное наблюдение максимонной составляющей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гуревич Л.Э., Чернин А.П.* Введение в космологию. М.: Наука, 1978.
2. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1966. Т. 51. С. 878.
3. *Поляченко В.Л., Фридман А.М.* Равновесие и устойчивость гравитирующих систем. М.: Наука, 1977.
4. *Markov M.A.* // Progr. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa.
5. *Markov M.A.* Preprint IC/78/41. Trieste, 1978.

QUANTUM MINI-OBJECTS IN GENERAL RELATIVITY (Quantum Closed Friedmann Mini-World, Quantum Black Mini-Holes)*

§ 1. THE CLOSED FRIEDMANN WORLD IN THE QUANTUM GENERAL RELATIVITY

B.S. DeWitt has considered the closed Friedmann world filled with dust in the quantum general relativity using WKB-method [4]. Our aim now is to consider the objects of the smallest "bare" masses, the objects with the minimal values of the quantum number n. The problem demands exact solutions. It is necessary to stress that the method of the quantizing when as canonical variables are taken the radius R of the world and the momentum $-i\hbar\partial/\partial R$ is quite adequate to our problem to consider the properties of the mini-objects which are connected with their sizes.

The density of the total classical Hamiltonian in a "volume" of the variables χ, θ, ϕ has the form [4]:

$$\mathbf{H}_0 = \mathbf{H}_g + \mathbf{H}_m = -\frac{2\pi\varkappa}{3}\frac{p^2}{R} - \frac{3}{8\pi\varkappa}R + \rho R^3, \tag{1}$$

* Preprint / INR; IYAI-P-0160. Moscow, 1980. Co-author *V.K. Mal'tsev*.

where $\mathbf{H}_m = \rho R^3$ is a density of the Hamiltonian of matter ("dust"), $\mathbf{H}_g$ is the gravitational part of the Hamiltonian $\mathbf{H}_0$, $\varkappa$ is Newtonian constant. The total Hamiltonian $\mathbf{H}_0 = \int_\Omega \mathbf{H}_0 d\Omega = \mathbf{H}_0 \Omega$. Let us consider p and R as operators:

$$[\hat{R}, \hat{p}] = i\hbar. \tag{2}$$

In the Hamiltonian (1) the term $\sim p^2/R$ is to be ordered in a corresponding way. It is easy to see that this procedure is not unique. Indeed, if instead of p^2/R we write

$$\sum_{\mu,\nu} C_{\mu\nu} R^{-\mu} p R^{\mu+\nu-1} p R^{-\nu}, \tag{3}$$

where $C_{\mu\nu} = C^*_{\mu\nu} = C_{\nu\mu}$, $\sum_{\mu,\nu} C_{\mu\nu} = 1$, then in the classical limit (3) will have the form p^2/R. Using (2) we find that in any case

$$\sum_{\mu,\nu} C_{\mu\nu} R^{-\mu} p R^{\mu+\nu-1} p R^{-\nu} = pR^{-1}p - \beta\hbar^2 R^{-3}, \tag{4}$$

where β is a new constant. Write the Hamiltonian $\mathbf{H}_g$ in the form:

$$\mathbf{H}_g = -\frac{2\pi\varkappa}{3}(pR^{-1}p - \beta\hbar^2 R^{-3}) - \frac{3}{8\pi\varkappa} R. \tag{5}$$

Now we can write an analogy of the Schrödinger equation ($\mathbf{H}_0\psi = 0$):

$$\frac{1}{x}\frac{d^2\psi}{dx^2} - \frac{1}{x^2}\frac{d\psi}{dx} + \left(\frac{\beta}{x^3} - x\right)\psi = -2\varepsilon\psi. \tag{6}$$

Here a "coordinate" representation is used:

$$\psi = \psi(R), \quad \hat{R}\psi = R\psi, \quad \hat{p}\psi = -i\hbar\, d\psi / dR$$

and

$$x = R / R_0, \quad R_0 = (4\pi\hbar\varkappa / 3)^{1/2}, \quad \varepsilon = E / E_0, \quad E_0 = (3\pi^3\hbar / \varkappa)^{1/2}.$$

In the r.h.s. of the equation (6) E is the energy of the "bare" matter ("dust"):

$$E = \int_\Omega \rho R^3 d\Omega = \rho R^3 \Omega, \quad \Omega = 2\pi^2. \tag{7}$$

Following DeWitt [4] we consider E as c-number. E is the energy of the dust, which in the closed Friedmann world is completely compensated by negative energy of its gravitational field. According to DeWitt the eq. (6) describes the states of a Friedmann world with the corresponding values of the "bare" mass.

§ 2. ON THE SOLUTION OF THE EQUATION (6)

Since the system under consideration (the closed Friedmann world) is characterized by finite motion of matter, it is rather naturally to expect that the quantum spectrum of the energy E must be discrete.

For instance, in the case $\beta = 3/4$ we have:

$$\psi_n = C_n x^{1/2} \mathbf{H}_n(x - \varepsilon_n) \exp\left[-\frac{1}{2}(x - \varepsilon_n)^2\right], \tag{8}$$

$$\varepsilon_n^2 = 2n + 1, \quad E_n = E_0(2n+1)^{1/2}; \tag{9}$$

$\mathbf{H}_n$ are Hermitean polynoms. The ordering constant β can be defined from the condition of the orthogonality of the solutions of the equation (6). In our case the well known conditions [5] of the orthogonality have the form:

$$x^{-1}(\psi_n d\psi_m / dx - \psi_m d\psi_n / dx)\Big|_0^\infty = 2(\varepsilon_n - \varepsilon_m)\int_0^\infty \psi_m \psi_n dx = 0. \tag{10}$$

The condition (10) demands such a behaviour of $\psi(x)$ at $x \to 0$ that only solutions of the equation (6) with $\beta = 1$ are acceptable. (According to our designations the ordering constant β in DeWitt's paper [4] is chosen as $\beta = 7/16$.) Unfortunately, in the case of $\beta = 1$ the solutions of the equation (6) can not be expressed via known functions. Nevertheless the numerical calculations via I.M. Gelfand's method show[1] that the spectrum is very close to that of the case $\beta = 3/4$:

$$n = \quad 0 \qquad 1 \qquad 2 \qquad 3$$

$$\varepsilon_n = \begin{cases} 1{,}00 \quad 1{,}73 \quad 2{,}23 \quad 2{,}64\ldots \quad \beta = 3/4, \ \text{WKB [4]}, \\ 0{,}98 \quad 1{,}72 \quad 2{,}23 \quad 2{,}64\ldots \quad \text{I.M.Gelfand}. \end{cases} \tag{9'}$$

According to (9) and (9′) the lowest value of the "bare" mass of the closed Friedmann world in the quantum general relativity is different from zero and is very close to the value of the Planck mass: $m_{\min} = a(\hbar / \varkappa)^{1/2}$, where $a \sim 1$. Among the solutions of the equation (6) there are absent the functions which describe the state of the closed world with $E = 0$. It is important to stress that ψ-functions of the closed quantum Friedmann world just like in the case of quantum linear oscillator continue beyond the classical turning point. That tunnelling effect was mentioned in Wheeler's [9] and DeWitt's [4] works. But in the case of the macroscopical objects this effect is extremely small. That was the reason why this effect did not attract proper attention.

---

[1] We express to prof. I.M. Gelfand our deep gratitude.

In the case of the Friedmann mini-world (let us say – "elementary" Friedmann world when $n = 0$) the tunneling beyond the classical size (x_{class}) of the object

$$\Delta x \sim \int_{x_{\text{class}}}^{\infty} \psi^2 x\, dx \sim 0,4 \tag{11}$$

has almost the same value as the size of the mini-object: $\bar{x} \sim 1$ at $n = 0$.

In the case of the classically closed Friedmann world further questions arise: is a tunnelling between two classically closed Friedmann worlds possible, can the quantum fluctuations of the metric of Friedmann world violate in a small scale the absolute closure of the classical world?

The tunneling beyond the Schwarzschild sphere in the case of the "elementary" black holes (the appearance of the "quantum hair") might be of great importance. We shall touch these questions in other articles.

§ 3. ON THE SENSE OF ψ-FUNCTION

There is an analogy between a classical linear oscillator and the model of Friedmann closed world [9]. In is well known that for the classical linear oscillator with the coordinate $a = A \sin \omega t$ one can introduce a density of probability to find the oscillating mass in a region da:

$$W_{\text{class}} = \frac{A}{\pi(A^2 - a^2)^{1/2}}, \quad |a| < A. \tag{12}$$

In the case of the classical closed Friedmann world with the radius $a = \frac{1}{2}A(1 - \cos \eta)$ the corresponding density is [9]:

$$W_{\text{class}} = \frac{2a}{\pi(Aa - a^2)^{1/2}}, \quad 0 < a < A. \tag{13}$$

It is possible to show that corresponding quantity $|\psi|^2$ in the case of the large quantum numbers n agrees with the expression (13).

Of course there is a very interesting question about the validity of so called "Copenhagen View" in the case of closed worlds. But now we can "avoid" this question by considering the "almost" closed world in the sense of O. Klein article [5]. We hope to come back to this question in the future.

§ 4. THE BLACK HOLES OF THE MINIMAL MASSES AND SIZES

According to DeWitt [4] and Wheeler [9] consider the quantization of a model of black hole in the following way.

For collapsing in the empty space spherical symmetrical cloud of the dust we can take the metric in the form [1]:

$$ds^2 = dt^2 + g_{11} dR^2 - r^2(t, R)(d\theta^2 + \sin^2 \theta\, d\phi^2), \tag{14}$$

where $g_{11} = -(\partial r/\partial R)^2(1-f)^{-1}, f(R)$ is an arbitrary function $\leqslant 1$, and $r(t, R)$ is a solution of the equation:

$$2r\ddot{r} + \dot{r}^2 + f = 0 \qquad (15)$$

(the dot denotes $\partial/\partial t$). Assume that the surface of the cloud is defined by a value of the coordinate $R = R_0$. We shall consider (15) when $R = R_0$:

$$2a\ddot{a} + \dot{a}^2 + f_0 = 0, \qquad (16)$$

where $f_0 = f(R_0)$, $a = r(t, R_0)$.

This equation can be written in Hamiltonian form with the Hamiltonian

$$\mathbf{H} = \frac{1}{2} k f_0^{3/2}\left(\frac{p^2}{a} + f_0^{-2}k^{-2}a\right) \qquad (17)$$

which is chosen in such a way that the classical equation

$$f_0^{3/2}\,\mathbf{H} = E \qquad (18)$$

defines an energy (E) of the given cloud for a Schwarzschild observer.

The equation (18) can be rewritten in the form:

$$p^2 = k^{-2} f_0^{-3} a(2kE - f_0 a). \qquad (18')$$

Now we write a corresponding Schrödinger equation $\left(f_0^{3/2}\mathbf{H}\psi = E\psi\right)$, using a "coordinate" representation and the same ordering as above (§ 1):

$$\left(\frac{d}{dx}\frac{1}{x}\frac{d}{dx} + \frac{1}{x^3} - \frac{x}{f_0^2} + \frac{2\varepsilon}{f_0^3}\right)\psi = 0, \qquad (19)$$

where $x = a/a_p$, $a_p = (\hbar\varkappa)^{1/2}$; $\varepsilon = E/E_p$, $E_p = (\hbar/\varkappa)^{1/2}$. The eq. (19) has the same form as the eq. (6). The fact is that the Friedmann metric is a particular case of the metric (14) of the Tolman problem [1]. In the particular case the metric inside the dust cloud can be described by Friedmann interval:

$$ds^2 = dt^2 - b^2(t)[d\chi^2 + \sin^2\chi(d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\phi^2)]; \qquad (20)$$

then f_0 is chosen as $f_0 = \sin^2\chi_0$, and at $\chi = \chi_0$ a part of the internal (Friedmann) world is sewn with external empty space. From (18′) it follows that f_0 is connected with a "turning point" ($p = 0$) in the classical picture. For $f_0 = 1$ the classical maximal radius of the system is equal to Schwarzschild radius r_g and the system under consideration is a model of a black hole. It is necessary to stress that in the case of the closed Friedmann world (§ 1) the radius of the world R was chosen as the operator of the coordinate and in the case of the black hole the operator of the coordinate is the "second length" in the metric (14), namely $r(t, R_0)$, which characterizes a radius of the corresponding surface. According to § 2 we can conclude that

the energy spectrum of the given model of black hole may be described with a good approximation by

$$E_n = E_p(2n+1)^{1/2}. \qquad (21)$$

It is easy to see that the wave-length of the radiation in the transition $E_{n+1} \to E_n$ is about the gravitational radius:

$$\Delta E_n = E_{n+1} - E_n \sim E_p^2 / E_n \sim \hbar / r_g, \quad n \gg 1.$$

It is well-known that according to thermodynamical consideration the characteristic radiation of the classical black holes has a wave-length of the order of the gravitational radius of the black hole ($\lambda \approx r_g$).

Our consideration also shows that at $n \to 0$ the character of the black mini-holes radiation must be very different from radiation which is characteristic for the black bodies. According to (21) the lowest state of the black mini-hole ($n = 0$) is the stable state with the mass which is very close to the Planck mass. This state is the final state of macroscopical black holes. Here we have an analogy with a corresponding situation in the case of the linear oscillator. The possibility of such states as the zero-oscillations of the systems was supposed before [2, 3]. The effect of tunnelling of matter beyond the Schwarzschild sphere in the case of the black mini-holes (say, "elementary black holes") in our opinion may be important: the question on so called "hair" arises in a new light. If the final states of the black holes are indeed stable, then the problem of violation or conservation of the baryon numbers in the decay-process of the black holes must find a corresponding interpretation. But it is necessary to be very careful with this our conclusions. We must keep in mind that we have considered only one concrete model of the black hole. Moreover, at present time we have not very definite indications on the existence of the macroscopical black holes in the Universe. It is not excluded that in the life of the stars there are processes which make impossible the formation of the black holes [8].

But the "ready" elementary black holes could be created as any other elementary particles. We don't know in what state was the matter at the moment of the Big Bang. The hypothesis, according to which the whole matter at that time was in the state of a maximonic gas [3, 7] is not excluded.

REFERENCES

1. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Квантовая механика. М.; Л.: ОГИЗ, 1948. С. 76.
2. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1966. Т. 51. С. 878.
3. *Марков М.А.* О природе материи. М.: Наука, 1976. С. 210.
4. *DeWitt B.S.* // Phys. Rev. 1967. Vol. 160. P. 1113.
5. *Klein O.* Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit. Braunschweig: Vieweg, 1961.
6. *Markov M.A.* // Progr. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa. P. 85.
7. *Markov M.A.* Preprint IC/78/41. Trieste, 1978.
8. *Migdal A.B., Chernoutsan A.I., Mishustin I.N.* // Conf. on Extreme states in nuclear physics. Dresden, 1980.
9. *Wheeler J.A.* // Relativity, groups and topology. N.Y.: Les Houches Lectures, 1964.

ON QUANTUM VIOLATION OF TOPOLOGY IN SMALL SPATIAL REGIONS*

From the time of Planck the length constant is known built of absolutely universal fundamental constants: c – light velocity, Planck constant $\hbar$ and gravitational constant $\varkappa$:

$$l_{\text{Pl}} = \sqrt{\frac{\hbar\varkappa}{c^3}}. \quad (1)$$

In the papers by J.A. Wheeler [7] the idea was expressed long ago that the space has a foamy structure and the dimensions of its so to say "element" are given by the Planck length. S. Hawking made an attempt of concretization in the description of this "element" [5].

The most typical property of absolutely universal world constants (c, $\hbar$) is that they are so to say *limiting constants*.

The constant c determines limitation of signal velocity in the nature, the constant $\hbar$ indicates that in the nature there exists a lower limiting value of the action. By analogy with the constants c, $\hbar$ one could expect that as an absolutely universal world constant the Planck length also plays a limiting role, that in the nature there exist no lengths $l < l_{\text{Pl}}$.

Of course, we do not mean that there exist some space atoms in the sense of Democritus space atoms or something of the kind.

We are interested in whether or not the physical quantities such as $g_{\mu\nu}$ determining the space metric, R – scalar curvature entering fundamentally in the action integral $I = \int R\sqrt{-g}\, d\Omega$, energy densities ε etc. have some physical meaning in the region $l < l_{\text{Pl}}$. Are the Green functions in the region $l < l_{\text{Pl}}$ meaningful? Of course, all these questions must be answered by a consistent theory, quantum gravitational field theory, which is now only in progress.

In the present paper we have made an attempt to consider the questions of interest on the example of quantized Friedmann universe, quantized by the Wheeler–DeWitt method [5, 7] in which the universe radius (a) is taken as the coordinate operator and $\hat{p} = i\frac{\partial}{\partial a}$ as the momentum operator, so that the corresponding quantum brackets take the form

$$[\hat{a}, \hat{p}] = i\hbar, \quad (2)$$

where

$$\hat{p} = \frac{\partial L}{\partial \dot{a}}, \quad (3)$$

L is the corresponding Lagrange function.

In some sense this way of quantization is close to quantization in the tetrad representation of Einstein equations, i.e. not $g_{\mu\nu}$ but $\sqrt{g_{\mu\nu}}$ is the operator which plays a fundamental

* Preprint / INR; IYAI-P-0187. Moscow, 1980.

role in this method[1]. This quantization method seems to be most adequate to our problem. The classical physical quantities in question, i.e. scalar curvature R, tensor $R_{\mu\nu}$, energy densities ε, can be expressed in the functions of a and p.

Attaching the operator properties to $\hat{a}$ and $\hat{p}$ we find, after corresponding ordering of the operators $\hat{a}$ and $\hat{p}$, the operator form of R, $R_{\mu\nu}$, ε etc.

Then the commutators of the form

$$[\hat{R},\hat{a}^2]=\cdots;\ [\hat{R}_{\mu\nu},\hat{a}^2]=\cdots;\ [\hat{\varepsilon},\hat{a}^2]=\cdots \tag{4}$$

and the corresponding analogs of the Heisenberg relation [3]

$$\Delta\hat{R}\,\Delta\hat{a}^2=\cdots\Delta\hat{\varepsilon}\,\Delta\hat{a}^2=\cdots \tag{5}$$

answer to what extent the physical quantities under consideration remain somewhat meaningful in the regions $a^2<l_{\mathrm{Pl}}^2$ In other words, the question is whether it is possible to measure these quantities in the regions $a^2<l_{\mathrm{Pl}}^2$ with errors less than the classical values of these quantites determining, in particular, the topology of a given space.

Remember that the Lagrangian density of the Friedmann universe filled with dust is written in the general form as [6]

$$L_g=\frac{3a}{G}\left(k-\frac{\dot{a}^2}{c^2}\right);\quad G=\frac{8\pi\varkappa}{c^4}, \tag{6}$$

$\varkappa$ – is a Newtonian constant, k = 1, 0, –1 determine respectively, closed, plane and open Friedmann metrics. The sign of g indicates that the written down is the part of the Lagrange function density which describes only the gravitational field of the system, $\dot{a}$ stands for the time derivative of a.

In this case the expression for the momentum p, according to (3), is written in the form

$$p=\frac{\partial L_g}{\partial\dot{a}}=-\frac{6}{G}\frac{a\dot{a}}{c^2}. \tag{7}$$

We have not written the part of the Lagrangian which refers to the matter (dust) since it does not contain $\dot{a}$ and thus does not contribute to the expression for the momentum p.

The expression for the scalar curvature [1] is

$$R=R_0^0+R_\alpha^\alpha=-\frac{6}{a^3}(a+a''), \tag{8}$$

where

$$a'=\frac{\partial a}{\partial\eta};\quad d\eta=\frac{c}{a}dt;\quad a'=\frac{a\dot{a}}{c},$$

[1] It should be noted however that quantization method [5,7] gives quantum corrections only to a but leaves open the question of quantum corrections to all $g_{\mu\nu}$.

$$a'' = \frac{a}{c^2}\dot{a}^2 + a^2\frac{\ddot{a}}{c^2}.$$

Using the Lagrange equation

$$2\frac{\ddot{a}}{a} + \frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{kc^2}{a^2} = 0 \qquad (9)$$

one can represent the scalar curvature as a function of $\dot{a}$ and a

$$\ddot{a} = \frac{\dot{a}^2}{2a} - \frac{kc^2}{2a}$$

or

$$R = -\frac{3}{a^2}\left(2 - k + \frac{p^2G^2c^2}{36a^2}\right). \qquad (10)$$

In what follows we are interested in the part of the operator $\hat{R}$ which does not commute with the operator $\hat{a}$, namely

$$\hat{R}' = -\frac{G^2c^2\hat{p}^2}{12\hat{a}^4}. \qquad (11)$$

We symmetrize this operator in the manner of ref. [6]

$$\hat{R}' = -\frac{G^2c^2}{12}\left(\frac{\hat{a}^{-4}\hat{p}^2}{2} + \frac{\hat{p}^2\hat{a}^{-4}}{2}\right). \qquad (12)$$

Calculation of the commutator $[\hat{R},\ \hat{a}^2]$ is reduced to the calculation of

$$[R'a^2] - ? \qquad (13)$$

Using the relation $[\hat{p}, \hat{a}^n] = \frac{\hbar}{i} n\,\hat{a}^n$ we can write the commutator (13) in the form

$$[\hat{R}', \hat{a}^2] = -\left(\frac{l_{\text{Pl}}^4}{a^4} + \frac{2}{3}\frac{l_{\text{Pl}}^4}{\hat{a}^3\hbar} ip\right) = -\left(\frac{l_{\text{Pl}}^4}{a^4} - \frac{2}{3}\frac{l_{\text{Pl}}^4}{a^3}\frac{\partial}{\partial a}\right) \qquad (14)$$

or

$$[\hat{R}', \hat{a}^2]\psi(a) = -\left(\frac{l_{\text{Pl}}^4}{a^4} - \frac{2}{3}\frac{l_{\text{Pl}}^4}{a^3}\frac{\partial}{\partial a}\right)\psi(a). \qquad (15)$$

Remember that $\hat{a}\psi = a\psi$.

It should be noted that the commutator (14) does not contain the quantity k. In other words, the commutator has one and the same form for a closed, opened and plane Friedmann universe. In all three cases the right-hand side of eq. (15) contains one and the same characteristic term $\frac{l_{\text{Pl}}^4}{a^4}$.

The difference in k is determined only by the value of p in the state $\psi(a)$ which describes a given Friedmann universe.

It is natural to expect the commutator to vanish at high values of the universe radius (a macroscopic case).

At $a \to 0$ the right-hand side of the commutator (15) tends to an infinite value. At $a \to l_{Pl}$ the term $\frac{l_{Pl}^4}{a^4} \to 1$.

At $a \to 0$ the noncommutativeness of $\hat{R}$ and $\hat{a}^2$ is evidently so high that in the region $a \to l_{Pl}$ the scalar curvature becomes meaningless.

Indeed, following ordinary rules of quantum theory, one can try to write the corresponding analogs of the Heisenberg relation [3]

$$\Delta A\, \Delta B \geq \left|\langle [A,B] \rangle\right|, \tag{16}$$

where ΔA and ΔB is the square root of the deviation from their average values $\langle A\rangle$ and $\langle B\rangle$ in the given quantum state.

As an example one can take the ψ function which describes to a good approximation both a quantum closed Friedmann universe and a quantum black hole [6]. In both cases we deal with matter and its finite motion.

As a consequence of finite motion, a closed Friedmann universe and a black hole possess discrete energy spectra. In the case of Friedmann universe we deal with a discrete spectrum of bare mass, in the case of a black hole discrete is its total mass. These cases of finite matter motion differ only in the physical meaning of quantum tunnelling effects. In the case of a closed Friedmann universe this is tunnelling outside the limits of the classical Friedmann universe radius, in the case of a black hole – tunnelling outside the limits of the classical Schwarzschild sphere [6].

Remember that the solution in question [6]

$$\psi_n\left(\frac{l_{Pl}}{a}\right) = c_n\left(\frac{a}{l_{Pl}}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{a}{l_{Pl}} - \varepsilon_n\right)^2\right)\mathbf{H}_n\left(\frac{a}{l_{Pl}}\right),$$

$$\varepsilon_n = \sqrt{2n+1}, \tag{17}$$

where $\mathbf{H}_n$ are Hermit polynomials, ψ_n tends to zero both at a 0 and at $a \to \infty$. The mean values $\langle p\rangle$ and $\langle a\rangle$ are everywhere finite.

However the circumstance is of interest that the right-hand side of equation (16) written for the operator (14) takes in the state (17) an infinite value at the lower limit of the integral

$$\int_a^{\infty} \psi[\hat{R},\hat{a}^2]\psi\, da \to \infty \tag{18}$$

at $a \to 0$.

The only parameter with a length dimension, at which it is natural to cut off the value of the integral, is $a = l_{Pl}$.

This circumstance is in agreement with the above remark that the scalar curvature R becomes meaningless in the region $a^2 < l_{\mathrm{Pl}}^2$.

It for estimation we make calculations for the case ψ_0 [6]:

$$\psi_0(a) = c_0 \left(\frac{a}{l_{\mathrm{Pl}}}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{a}{l_{\mathrm{Pl}}} - 1\right)^2\right), \quad c_0 \sim \frac{1}{l_{\mathrm{Pl}}}. \tag{19}$$

Relation (16) for the case $\hat{R}$ and $\hat{a}^2$ takes the form

$$\Delta R \, \Delta a^2 \geqslant \gamma, \tag{20}$$

where γ is a dimensionless number ~ 1.

In other words, when the inaccuracy in the measurement of a^2 becomes of the order of $\Delta a^2 \sim l_{\mathrm{Pl}}^2$, the error in the measurement of R becomes of the order of R adopted for this case in the classical physics

$$\Delta R \sim \frac{1}{l_{\mathrm{Pl}}^2}. \tag{21}$$

So, the point is that in the region $a^2 < l_{\mathrm{Pl}}^2$ the concept of scalar curvature becomes actually meaningless.

The energy density ε in the Friedmann universe is given by the expression [1]

$$\varepsilon = \frac{3}{\varkappa}(ka^2 + (a')^2). \tag{22}$$

Estimations in the case $k = 1$ and ψ_0 lead to the relation

$$\Delta\varepsilon \, \Delta a^2 \sim \frac{c^2}{\varkappa}. \tag{23}$$

At $a \to l_{\mathrm{Pl}} = \sqrt{\frac{\hbar\varkappa}{c^3}}$ relation (23) is rewritten in the form

$$\Delta\varepsilon = \sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa^3}} l_{\mathrm{Pl}}^{-3} \sim 10^{94} \ (\mathrm{gr/cm^3}) c^2. \tag{24}$$

In the aspect of the possible viewpoint concerning measurability of physical quantities in ultra-small regions of space one may assume that the mass densities

$$\frac{\varepsilon}{c^2} > 10^{94} \ \mathrm{gr/cm^3} \tag{25}$$

do not exist in the nature.

One can also calculate the commutator of the form

$$R^{\mu\nu} g_{\mu\nu} - g_{\mu\nu} R^{\mu\nu} = l_{\mathrm{Pl}}^{-2} f(\ldots).$$

The choice of a specific form of $f(...)$ can be considered also as some new idea in the problem of gravitational field quantization.

Many years ago, when different formulations of nonlocal theories were being discussed, the version was suggested which, e.g. for a scalar field, was written down in the form [2]

$$\phi(r)\,r - r\phi(r) = l_0\phi(r), \tag{26}$$

where l_0 is a new length constant.

The relation

$$\Delta\phi\,\Delta r - l_0\phi$$

was discussed as a consequence of relation (26).

The idea suggested was that when the error in the measurement of lengths approaches l_0, the error in the field measurement approaches its classical value ϕ.

The commutators discussed above are very close to the nonlocal theory formalism discussed in ref. [2]. In the framework of our treatment of the limiting role of the Planck length there is no room for some physics in the space regions $l < l_{Pl}$.

The papers by Wheeler [7] and particularly by Hawking [5] discuss quantum fluctuations of gravitational field. Quantum fluctuations are considered in these works as specific mini-objects of the General relativity. These mini-objects appear and disappear spontaneously, in no connection with matter. As a matter of fact, we mean a specific mini-object in quantum gravitation theory (instanton) with a specific topology $S^2 \times S^2$.

Gravitational field quantization is formulated in these works by the Feynman method by a corresponding integral over various topologies.

But the Feynman method is inadequate to the analysis of commutation relations between operator representations of physical quantites, although it contains all this formalism in an implicit form.

In other words, in the absence of the corresponding analysis of measurability of the physical quantities characterizing this mini-object of gravitational field, it is impossible to discuss this object or in any case the characteristic interaction of these objects with external fields. For example, an elementary black hole considered in ref. [6] has such and excitation energy spectrum that in its ground state the system can absorb only the energy $\sim c^2\sqrt{\hbar c/\varkappa}$, since there are no other states of an elementary black hole close to its ground state.

In view of these remarks the interesting work by Hawking [5] requires further analysis.

REFERENCES

1. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Квантовая механика. М.; Л.: ОГИЗ, 1948. С. 76.

2. *Марков М.А.* // Физ. журн. АН СССР. 1940. Т. 2. С. 543.

3. *DeWitt B.S.* // Relativity, groups and topology. N.Y.: Les Houches Lectures, 1964. P. 614.

4. *DeWitt B.S.* // Phys. Rev. 1967. Vol. 160. P. 1113.

5. *Hawking S.W.* Spacetime foam. Preprint / DAMTP; Cambridge, 1981.

6. *Markov M.A., Maltsev V.K.* Quantum mini-objects in general relativity. Moscow, 1980. (Prepr. / INR; P-0160).

7. *Wheeler J.A.* // Relativity, groups and topology. N.Y.: Les Houches Lectures, 1964.

MAXIMON-TYPE SCENARIO OF THE UNIVERSE (Big Bang, Small Bang, Micro Bang)*

1. INTRODUCTION

The term "maximon" is introduced for an elementary particle with the maximum mass in the elementary particle spectrum [4, 18].

The role of the upper boundary in the elementary particle mass spectrum is supposed to be played by the mass value given by the universal constants combination known since Planck

$$m_{\max} = a\sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa}} \sim 10^{-5}\ \text{gr},$$

where $\hbar$ is Planck's constant, c is the velocity of light, $\varkappa$ is the gravitational constant, a is yet unknown coefficient ~ 1.

In the same papers [4, 18] it was assumed that particles of such a mass could be formed under the conditions of a great matter density at the initial moment of the history of our Universe. The above-mentioned papers considered the behaviour of these particles in the matter and their possible accumulation in celestial bodies, particularly in the Earth.

In 1971 the aricle by S. Hawking "Gravitational Collapsed Objects of Very Low Mass" [15] appeared, in which S. Hawking also paid attention to the possibility of the formation of particles of Planck's mass in a superdense matter of the initial state of the Universe. In his paper S. Hawking assumed that these particles could carry an electric charge $\varepsilon \pm 30$ electron charges.

The expression $\sqrt{\hbar c / \varkappa}$, as a formal combination of universal constants, has been known for a very long time, but it was only recently that it has acquired a real physical meaning in the theory of black holes. As is known, a black hole, when radiating, decreases in mass, and the smaller is the mass of the black hole, the more is the rate of the process. Thus, in its decay a black hole reaches inevitably the mass value in question. So, the object under consideration becomes subject to a special analysis in the theory of black holes. In our opinion the problem of fundamental importance, namely the problem of whether or not this final state of the black hole is *stable* should be discussed.

As is known, according to modern concepts the black hole decays, loses energy for radiation as a heated black body. Lawfulness of the theory of black hole radiation is restricted to macroscopic objects. There remains the question of the applicability of the existing theory of black hole radiation up to such extremely small black holes. It is essential to emphasize here that a black hole of mass $m < \sqrt{\hbar c / \varkappa}$, apparently, cannot exist. In other words, the final state of a black hole is actually a maximon and at the same time an elementary particle, by the definition of elementary particle concept discussed [22].

Thus, the problem is whether the maximon is stable or unstable.

---

* Preprint / INR; IYAI-P-0207. Moscow, 1981.

We have classified this problem here as the problem of fundamental importance. In fact, the solution of this problem plays a fundamental role both in the case of maximon instability, as the final state of a black hole, and in the case of its stability. As is known, in case this elementary black hole is unstable, i.e. when a black hole vanishes completely in the process of its decay, the cosmic censorship principle is violated since there appears the so-called nu singularity [4, 16], which according to the cosmic censorship must always be located under the Schwarzschild sphere. If in the case of a stable final state of a black hole it may be still possible to speak, now only in some ambiguous sense, of the conservation of the baryon number, in the case of a complete disappearance of a black hole the baryon number conservation law would be violated quite obviously. At the present time the latter remark is probably not essential, since a theory is sought for intensively, wherein the baryon number conservation law would be necesserily violated. But the problem of conservation of the baryon number may again become of importance if the available experimental data on the proton life-time contradicted the versions of the existing theories, and it is not excluded that the problem of baryon asymmetry of the Universe will require some other way of solution [20].

Immeasurably more important for many problems of physics, particularly astrophysics and possibly cosmology would be maximon stability [17, 19, 20–22].

In the present paper we discuss briefly some scenarios of Universe evolution under the condition of maximon stability.

2. THE CHOICE OF THE SCENARIO, BIG BANG

In ref. [17] some arguments in favour of stability of the final state of a black hole are presented[1]. In the quantization method used in that paper the energy spectrum of the mini-black holes is given by the expression

$$E_n = E_0\sqrt{2n+1} \tag{1}$$

at $n \to 0$, $E_n \to E_0 = m_{\max}c^2$.

---

[1] May the stability of the final state of the black hole be considered as proved? Strictly speaking, unfortunately not. The quantum consideration presented in ref. [17] makes the assumption of the stability of the final state of a black hole quite probable. A defect of our consideration of the properties of microobjects consists in the fact that in the formalism used the degrees of freedom (χ, θ, ϕ) in which quantum fluctuations are also possible turn out to be "frozen". Such a consideration is facilitated by the fact that in the Lagrange form Friedmann's Universe, for example, is described by the radius R and by its time variation ($\dot{R}$). The other variables (χ, θ) are not contained in the Lagrangian [21]: $L_{gr} = 3R/\varkappa\,(1 - \dot{R}^2/c^2)$. The Lagrangian does not contain $\dot{\chi}$ and $\dot{\theta}$, i.e. the momenta conjugate to the coordinates are absent. We could continue the analysis of the problem in the framework of the corresponding Feynman's method by considering the integral over different topologies. Unfortunately, consideration of the problem in the one-loop approximation is applicable only in the case of $R_{\mu\nu\eta\lambda}R^{\mu\nu\eta\lambda} < l_{Pl}^{-4}$ and may turn out to be unconvincing for $> l_{Pl}^{-4}$, namely for the objects of our interest. We will of course continue seeking (in quantum formalism) for the arguments that would make the statement of the stability of elementary black holes more grounded. Interesting here is also the possible role of a superstrong gravity at distances of the order of Planck's length [20], the role of a possible "strong-gravitational confinement".

But in our paper we consider only astrophysical and cosmological arguments which testify both against and to the idea of maximon stability.

In their book Zel'dovich and Novikov [3] put forward a serious objection of cosmological character to stability of the final state of black holes. In the paper by Zel'dovich [2] this argument is formulated as follows. In the early Universe, when the matter was relativistic and possessed a high density, in any case small black holes must have appeared with a large probability.

The matter in black holes is not expanded. The surrounding matter, which did not get into the black hole, is expanded and its pressure executes work.

"Let at the moment of black hole formation a certain fraction of matter a get into a black hole and a fraction $(1 - a)$ remain in the normal state[2]. After the time when the radius of the world increases n-fold, the mean density of black holes will fall down n^3-fold, in proportion with the volume, whereas the density of the surrounding relativistic matter will decrease n^4 times. The ratio will change, i.e. instead of $a/(1 - a)$ we will have the ratio

$$na/(1 - a). \qquad (2)$$

If at the initial moment 0,01 of the mass is transformed into black holes, after a hundredfold expansion these black holes make up already 50% and after a 10000-fold expansion 99% of the total mass etc..." [2].

"It is only the idea of black hole evaporation that saves us from the nightmare of microblack holes which are preserved up to now" [2].

A more thorough consideration shows that in case the elementary holes, maximons, are stable, this situation in cosmology is not so simple as it seems at first glance.

Unfortunately, we do not know many of the characteristics of the initial state of matter in the Universe. The matter density at the initial moment is often assumed to be not higher than the so-called quantum density $\rho_q \sim 10^{93}$ gr/cm^3. Of course, under these conditions it is natural to suppose that an abundant formation of black holes of extremely small mass is inevitable. We do not know the amount of stable maximons to be formed at first moments of the existence of the Universe. To simplify the consideration[3] of the scenario we will assume that at the initial moment just before the Big Bang the most "horrible" version is realized, namely all the matter directly before the Big Bang consisted exclusively of elementary black holes–maximons. The question is how the given scenario of the Universe will be further developed.

It should be noted that it is admissible to give a possible picture of the modern state of the Universe consisting also for the most part of maximons [4] with the density $\rho_m \sim$ $\sim 10^{-29}$ gr/cm^3 and with the visible matter $\rho_v \sim 10^{-31}$ gr/cm^3.

Now we mean the version of a closed Universe. If the Universe dimensions $R \sim 10^{28}$ cm, the total mass of the Universe $M_{tot} \sim 10^{55}$ gr and the total number of maximons $n_{max} \sim 10^{60}$. In other words, at the present time the mean distance between maximons $l \sim 10^8$ cm. If the maximon dimensions $l_0 \sim 10^{-33}$ cm and the collision cross-section $\sigma \sim 10^{-66}$ cm^2, then at the

[2] The meaning of the term "normal" state of matter is, of course, unclear at such matter density (*M.M.*).

[3] In principle, not so limiting version is possible.

present time the maximon matter determines the Universe metric only, it is practically unobservable[4]. For simplicity we assume electrically neutral spin zero maximons. But in principle they could possess a nonzero spin, have an electric chare of the order of unity, be maximons and in an equal number antimaximons. In all these cases the maximon matter remains practically an unobservable background.

Now the problem arises to satisfy first of all the given initial and final conditions of the scenario proposed. This means that proceeding from the given initial conditions, the presence of matter in a dense maximon state, we should indicate the process with the help of which ~1% of the initial maximons would be transformed into the usual matter with the density $\rho_v \sim 10^{-31}$ gr/cm^3.

In the scenario under consideration at the first moments of the existence of superdense maximon matter, when we speak of a cold (initial) Universe, the whole spectrum of ultrarelativistic particles existing at the nature appears in a natural way. This is a natural way because due to a high maximon density mini black holes must result with a large probability from joining few maximons into one black hole of a larger mass. This is how mini black holes in an excited state with the energy spectrum

$$E_n = E_o\sqrt{2n+1} \qquad (3)$$

must arise. Here $n = 1, 2, 3, \ldots, n \sim 1$.

The newly appeared black holes radiate[5] particles with an energy of the order of 10^{28} eV. In other words, in this scenario we deal with the mechanism which leads in a natural way to the Big Bang phenomenon. Now we speak of a qualitative picture of the scenario.

For a very small fraction of a second the Universe reaches such dimensions that mini-maximon hole formation becomes a rare event. In a certain approximation the Universe matter may be considered at this time as a two-component medium, where one component comes freely throught the other, interacting with it only gravitationally. The case of a two-component medium in the Universe is considered in the paper by Chernin, Moroz and Vandakurov. In the paper "Nonhomological Expansion in Cosmology" [13] the authors consider the case when pressure is in the open Universe at $t \to \infty$. In our scenario the relativistic medium possesses pressure and the Universe is closed. Such a development of the scenario still encounters, evidently, the above mentioned somewhat modified cosmological argument by Zel'dovich–Novikov.

But the picture proposed here is a rough approximation. In reality a rapid transformation of maximons into the usual ultrarelativistic matter has a more complicated character, and this transformation, as is seen from a more detailed consideration of the scenario, is still underway. Firstly, the transfer of the maximon energy into that of the usual matter is, evidently, of a complicated character. If, as we assume, the elementary particle mass spectrum is extended to the maximon mass, then the "desert" in the region of very large elementary particle masses, which now exists in the experimental data, is very likely to be gradually occupied in some form.

---

[4] At its uniform distribution.

[5] In the case of the existence of maximons – "antimaximons" – there annihilation must also take place.

Particles produced in the processes under discussion have now unknown for us times of life and transformation into the usual matter: nucleons, photons and other particles of very large mass, evidently, as a rule, of a cascade character. And the decay times of many of them may increase essentially due to a relativistic increase in time. But what is most important, there exists in the scenario a natural mechanism to prolong the process of transformation of maximons into the usual matter. We mean relic long-lived mini-maximon systems (maximonium, maxitritium, maxihelium, etc.) which, as follows from [23] may have any life-times, including that of the Universe. May be a still more essential property of the scenario is the possibility of the appearance of new types of celestial bodies of great masses, consisting mainly of maximons, that we referred to as swarms [5], which, in particular, in some moments of their life seem to be delayed relatively small bangs, as compared to Big Bang. They may be called Small Bangs.

3. SWARMS, SMALL BANGS

We are speaking here of long-lived gravitationally related maximon systems ("swarms") and of some specific features of such systems [5]. Such systems must arise with necessity from inhomogeneities in the early Universe as a result of gravitational instability, if at the initial moment of the Universe the maximon component of the matter was substantial.

Suppose that at some moment of time there appeared a system of mass $M = Nm_{\max}$, consisting of N maximons each of which executes finite motion in the general gravitational field of all the remaining masses. Let us estimate, disregarging radiations, the lifetime of such a system (suppose at first that maximons are electrically neutral, that the swarm does not contain relatively short-lived mini-maximon systems). The problem under consideration is analogous to the one of star clusters [1, 7]. Let R be the system's dimension, then the mean velocity of maximon motion in the swarm (velocity dispersion) $v \sim$ $\sim (\varkappa M / R)^{1/2}$, and the mean period of the finite motion $T = R/v \sim R^{3/2}(\varkappa M)^{1/2}$. The characteristic time t_0 between two close approaches of a given maximon with other maximons of the swarm at which the direction of its motion changes essentially (scattering at an angle $\theta \sim 1$) is of the order of

$$t_0 \sim RN/v \sim M^{1/2}R^{3/2}\varkappa^{-1/2}m_{\max}^{-1/2}. \tag{4}$$

The time of collissional relaxation for such a system $t = t_0\Lambda^{-1}$, where the factor $\Lambda = 10 \ln N$ is connected with the presence of unscreened gravitational forces decreasing slowly with the distance. The time t is the characteristic time of establishing quasi-Maxwell distribution as a result of particle collisions. As a result of energy redistribution in the swarm there appear in the time t some maximons whose energy is sufficient to leave the swarm, due to which the system loses energy. The characteristic time of this dissipation (the life-time of the maximon swarm) is given by [1]

$$t_l \sim 30t \sim R_{\text{gr}}^2 a^{3/2}(cl_{\text{Pl}} \ln N)^{-1}, \tag{5}$$

where R_{gr} is the gravitational radius of the swarm,

$$l_{Pl} = \sqrt{\frac{\varkappa\hbar}{c^3}} \quad \text{and} \quad a^{-1} = \frac{R_{gr}}{R} \sim \frac{2\phi}{c^2} \sim \frac{v^2}{c^2}.$$

At $a \gg 1$ the particle motion in the swarm is nonrelativistic $v^2 \ll c^2$ and the characteristic time of dissipation due to gravitational radiation $t_{gr} \sim a^5 R_{gr}^2 (l_{Pl}c)^{-1}$ is much larger than t_l:

$$\frac{t_l}{t_{gr}} \sim \frac{v^2}{c^2 \ln N}. \tag{6}$$

Energy dissipation affects gradually the inner structure of the swarm. The maximons acquiring energy close to the evaporation threshold are able to move a long orbits of larger and larger radius and in the end to leave the swarm.

Taking into account the fact that in the last act of collision before evaporation the offtaking maximon acquires energy on the average much lower than the mean kinetic maximon energy, one may assume that under maximon evaporation the swarm as a whole loses energy very slowly, and in the first approximation energy losses can be neglected [1]. To say it differently, in the course of a greater part of evaporation process one may assume $\varkappa M^2/R = \text{const}$.

Therefore, mass losses by the swarm lead to a decrease in its dimensions $R \sim M^2$. As the initial mass decreases a times, the swarm's dimension may become of the order of its gravitational radius, which may entail the formation of a black hole with the mass

$$M_1 = \frac{M}{a} \sim \frac{M^2}{c^2}. \tag{7}$$

Comparing the swarm's life-time t with that of the Universe, we obtain that only those appeared in the early Universe, could have lived till the present time whose parameters satisfy the condition

$$Ma^{3/4} \geqslant 10^{26}\,\text{gr}. \tag{8}$$

The considered situation in maximon clusters (swarms) is quite analogous to the evolution of star clusters. The evolution of real swarms must differ essentially from the star cluster evolution, and the considered process in maximon clusters must be interfered by a number of quite specific processes which may change essentially their evolution.

The usual surrounding matter must evidently be confined by massive swarms. Massive swarms may confine atoms of matter, dust specks, meteors as well as stars. And on the contrary, swarms relatively small in mass and dimensions may find themselves inside stars and other celestial bodies. But what is important, we have assumed a homogeneous structure of swarms. Here we have not even exactly copied the situation in star clusters. Almost half of the stars in the Universe, for example, are known to be binaries. May be it is more natural to suppose that double, tripple and other mini systems of maximons may be still more frequent formations, like those of relic origin in the scenario in question. Such maximon systems (maximonium, maxitritium, maxihelium etc.) were considered in preprint [23].

Their life-times depend on the initial dimensions of these systems. Even for electrically neutral similar gravitational radiation losses may be essential. So, the maximonia whose dimensions, at the moments close to Big Bang, were $r_0 \sim 10^{-17}$ cm are now finishing their existence. A maximonium finishes its existence with the energy release of about 10^{28} eV in the form of different ultrarelativistic particles. Physically this is the same form of energy release which we discussed in the consideration of the initial state of the Universe, but delayed in time. This microscopic phenomenon may be referred to as *Micro Bang*.

The same processes (microbangs) proceeding in an ultraheavy swarm, "polluted" to a greater extent by the usual matter must lead to an essential heating of the entire mass of such a celestial body. In principle, under condition of large masses this process may lead to heating the entire mass of the celestial body to such an extent that it may resemble a delayed Big Bang, but of much smaller dimensions. This phenomenon could be referred to as *Small Bang*. So, in our scenario there appear in a natural way Big Bang, Small Bangs and Micro Bangs.

As a new class of celestial bodies the swarms under consideration can in many respects immitate in their manifestations neutron stars, black holes etc.

But their distinctive feature is that along with usual radiations, which under certain conditions may accompany falling of matter onto these celestial bodies, the specific mechanism of their internal heating must result from absorbtion of the ultrarelativistic radiation, occuring in microbang processes, by the usual matter that "pollutes" swarms. But owing to a large penetrating capacity of neutrinos some types of swarms could be detected as the sources of superhigh-energy neutrinos in DUMAND-type experiments.

One can hardly point out any other possible sources of such high-energy neutrinos which may occur in microbang processes. As is known, Ambartsumyan has put forward a hypothesis about the existence in the Universe of some regions of superdense matter of such great masses that the star formation process is the result of matter outflow from these centres.

Attempts are known to explain such a possibility by some unknown mechanism which realizes something like delaying of the Big Bang process in some regions of the initial Universe [6, 24]. Gigantic relic swarms seem to be possible candidates realizing such a delayed production of the usual matter. This possibility does not exclude, of course, but may to some extents co-exists with the widely accepted and natural process of star formation by condensation of already rarified form of the matter.

It should also be added that our scenario solves the often discussed mystery of the so-called "hidden masses" or "missing masses" which consists in the fact that the overall galactic mass almost always turns out to be less than the virial cluster mass [1]. Going back to the cosmological argument by Zel'dovich, Novikov [2, 3] against the existence of a stable final state of black holes, one can say that the complicated in time process of primary maximon transformation into the usual matter, which is presented in our scenario, calls in question the power of this argument.

We started considering the scenario from the limiting case assuming that directly before the Big Bang all the matter consisted entirely of maximons. Of course, the scenarios are possible of "mixed" versions and evidently also modifications of the scenarios based on cold or even "tepid" Universe with various consequent mechanisms of heating with the help of black hole formation and accretion phenomena [8–12].

4. OSCILLATING UNIVERSE, UNIVERSE CONTRACTION PHASE

In our scenario we discuss the closed version of Friedmann's Universe. Such a version of the maximon Universe is not obligatory, but its discussion is of certain interest. The consequence of the closed version of the Universe is the process of contraction which in this case comes inevitably after the maximal expansion of the Universe. In the consideration of the contraction phase there arises a series of new specific problems: duration of contraction up to critical [21] densities $\rho_{crit} \sim 10^{93}$ gr/cm^3. May be it can become infinite due to quantum effects, specifically, a continuous particle production, i.e. the process continuously directed to an increase of the volume of contracting matter. It is important to consider the entropy problems in the processes of Universe expansion and contraction. It is possible that under contraction the matter go back to the maximon state and, mainly, what is the possible role of asymptotical freedom in the final state of a contracted Universe? May we in this case write down some tensor of matter in the right-hand side of the Einstein equation, i.e. will not a de Sitter Universe (more exactly, some "vacuum-like" Universe) appear, and if so, then how stable is the topology of this Universe and can it evolve into a Friedmann's Universe? In other words, is an oscillating Universe possible in the quantum region? Consideration of all these questions will be given in the preprint to follow.

REFERENCES

1. *Гуревич Л.Е., Чернин А.Д.* Введение в космологию. М.: Наука, 1978.
2. *Зельдович Я.Б.* // Успехи физ. наук. 1977. Т. 123. С. 478.
3. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* Релятивистская астрофизика. М.: Наука, 1967.
4. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1966. Т. 51. С. 878.
5. *Марков М.А., Фролов В.П.* // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 29. С. 372.
6. *Новиков И.Д.* // ЖЭТФ. 1964. Т. 46. С. 684.
7. *Поляченко В.Л., Фридман А.М.* Равновесие и устойчивость гравитирующих систем. М.: Наука, 1977.
8. *Carr B.J.* // Astron. and Astrophys. 1977. Vol. 56. P. 377.
9. *Carr B.J.* // Ibid. 1977. Vol. 60. P. 13.
10. *Carr B.J.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1977. Vol. 181. P. 293.
11. *Carr B.J., Hawking S.W.* // Ibid. 1974. Vol. 168. P. 399.
12. *Carr B.J., Rus M.J.* // Astron. and Astrophys. 1977. Vol. 61. P. 70.
13. *Chernin A.D., Moroz B.Z., Vandakurov N.N.* // Phys. Lett. A. 1972. Vol. 39. P. 233.
14. *DeWitt B.S.* // Phys. Rep. C. 1975. Vol. 19. P. 295.
15. *Hawking S.W.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1971. Vol. 152. P. 75.
16. *Kodama H.* // Progr. Theor. Phys. 1979. Vol. 62. P. 1434.
17. *Maltsev V.K., Markov M.A.* Preprint P-0160 / INR. Moscow, 1980.
18. *Markov M.A.* // Prog. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa.
19. *Markov M.A.* Mistery of the largeı and small numbers in cosmology. Moscow, 1980. (Prepr./INR; P-0182).
20. *Markov M.A.* On Baryon asymmetry of the Universe. Moscow, 1980. (Prepr./INR; P-0162).
21. *Markov M.A.* On Quantum violation of topology in small spatial regions. Moscow, 1980. (Prepr./INR; P-0187).

22. *Markov M.A.* On the maximon and the concept of elementary particle. Moscow, 1981. (Prepr. / INR; P-0208).

23. *Markov M.A.* On the upper limit of the cosmic ray energy spectrum: (DUMAND-type experiment). Moscow, 1981. (Prepr. / INR; P-0197).

24. *Neeman Y.* // Appl. J. 1965. Vol. 141. P. 1303.

ПРЕДЕЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ МАТЕРИИ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЗАКОН ПРИРОДЫ*

Предполагается, что существует универсальный закон природы, согласно которому значение плотности материи ρ всегда ограничено ее верхним значением, даваемым выражением, составленным из наиболее универсальных констант: c – скорость света, $\hbar$ – постоянная Планка, $\varkappa$ – постоянная гравитации:

$$\rho \leqslant \rho_q = c^5 / \varkappa^2 \hbar. \qquad (1)$$

Постепенно мы узнаем, что для природы характерно ограничение существенных физических величин как в области больших, так и в области малых их значений.

Тот факт, что скорость распространения сигнала всегда меньше или равна скорости света, привел к открытию специальной теории относительности с ее своеобразным формализмом, описывающим физический мир больших скоростей. Своеобразным формализмом описываются явления квантовой теории, где фундаментальную роль играет другой ограничивающий принцип (limiting principle), согласно которому действие A не может быть меньше, чем постоянная Планка:

$$A \geqslant \hbar.$$

В настоящее время большой популярностью пользуются такие сценарии развития Вселенной, в которых область вблизи классической сингулярности в своем развитии Вселенная проходит в состоянии мира де Ситтера. Для мира де Ситтера характерно состояние с нарушенной энергодоминантностью [7] ($p + \varepsilon = 0$, p – давление, ε – плотность энергии), что дает возможность избежать фундаментальную трудность космологии – появление в других случаях (т.е. когда $p + 3\varepsilon > 0$) сингулярности как в процессе коллапса вселенной, так и в ее начальном состоянии.

Закон предельной плотности материи дает возможность написать уравнение гравитации, например[1], в следующем виде:

$$R_\mu^\nu - \frac{1}{2} R \delta_\mu^\nu = \frac{8\pi\varkappa}{c^4} T_\mu^\nu [1 - (\rho / \rho_q)^2]^n - \Lambda (\rho / \rho_q)^{2n} \delta_\mu^\nu, \quad n \geqslant 1/2. \qquad (2)$$

Здесь T_μ^ν – тензор энергии-импульса, Λ – некоторая постоянная.

---

* Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36, вып. 6. С. 214–216.

[1] Пример показывает, что принцип предельной плотности действительно может быть методическим принципом в будущих поисках реального формализма.

1. В случае $(\rho/\rho_q)^2 = (\rho\varkappa^2\hbar/c^5)^2 \ll 1$, иначе говоря, при $\hbar \to 0$ уравнение (2) переходит в классическое уравнение Эйнштейна:

$$R_\mu^\nu - \frac{1}{2}R\delta_\mu^\nu = \frac{8\pi\varkappa}{c^4}T_\mu^\nu. \tag{3}$$

2. В случае предельно большой плотности материи

$(\rho/\rho_q) = 1$

уравнение (2) описывает мир де Ситтера:

$$(\rho/\rho_q)^2 = 1; \quad R_\mu^\nu - \frac{1}{2}R\delta_\mu^\nu + \Lambda\delta_\mu^\nu = 0. \tag{4}$$

Запись уравнения типа (2) можно дать в ковариантной форме, заменив плотность ρ, например, следом тензора энергии-импульса $\rho = T_\mu^\nu/c^2$, т.е. скалярной кривизной

$$R = -\frac{8\pi\varkappa}{c^4}T = \frac{8\pi\varkappa}{c^2}\rho. \tag{5}$$

Но, по-видимому, целесообразнее всего обсуждаемый предельный принцип выразить на геометрическом языке, например, соотношением

$$D = R_{\mu\nu\delta\lambda}R^{\mu\nu\delta\lambda} \leqslant 1/l_0^4. \tag{6}$$

Теперь уравнение (2) переписывается в виде

$$R_\mu^\nu - \tfrac{1}{2}R\delta_\mu^\nu = \frac{8\pi\varkappa}{c^4}T_\mu^\nu(1 - Dl_0^4)^n - \Lambda(Dl_0^4)^n\delta_\mu^\nu, \quad n \geqslant \tfrac{1}{2}. \tag{7}$$

Здесь $l_0 = \sqrt{\hbar\varkappa/c^3}$ – длина Планка.

Обозначая левую часть уравнения (7) через G_μ^ν, а правую часть через B_μ^ν, мы получаем добавочное уравнение в виде ковариантной дивергенции правой части уравнения (7)

$$B_{\mu,\nu}^\nu = 0. \tag{8}$$

Уравнение (8) является следствием известного свойства левой части уравнения Эйнштейна:

$$G_{\mu,\nu}^\nu = 0.$$

Уравнение (8) приводит к тому, что ковариантная дивергенция тензора энергии-импульса не обращается в нуль:

$$T_{\mu,\nu}^\nu \neq 0. \tag{9}$$

Уравнение (9) описывает процесс исчезновения материи (тензора T_μ^ν) при возникновении мира де Ситтера. Или, употребляя более современную терминологию,

уравнение (9) описывает превращение материи в вакуумообразное состояние мира де Ситтера.

Мир де Ситтера, как известно, является нестабильным. Уравнение состояния в этом мире ($p + \varepsilon = 0$) является макроскопическим аналогом перегретой жидкости или переохлажденного пара. Уравнения типа (2) и (7) приспособлены к описанию осциллирующей вселенной[2].

Как известно, уравнения, содержащие в правой части уравнения Эйнштейна инварианты типа (6): R; $R_{\mu\nu}R^{\mu\nu}$; $R_{\mu\nu\lambda\delta}R^{\mu\nu\lambda\delta}$, широко рассматриваются в литературе (см. [2, 4, 5, 8]). Там идет речь о замене в правой части уравнения Эйнштейна T_{μ}^{ν} на вакуумные средние значения $\langle T_{\mu}^{\nu} \rangle_{ren}$. Обычно речь идет об однопетлевом приближении, законность которого ограничивается условием

$$R_{\mu\nu\lambda\delta}R^{\mu\nu\lambda\delta} < 1/l_{\rm Pl}^4. \tag{10}$$

Вакуумные средние описывают эффекты поляризации в сильных гравитационных полях и эффекты рождения частиц. Получаемые выражения для $\langle T_{\mu}^{\nu} \rangle$ требуют процедур удаления расходимостей путем различных методов ренормализации.

Следует заметить, что закон предельной плотности формулируется нами как универсальный закон. Таким образом, этот закон должен выполняться для всех полей. Другими словами, уравнения конкретных полей должны соответствующим образом модифицироваться, не допуская плотностей энергии (массы) больше критической. Уравнения для всех полей должны быть нелинейными. Можно говорить о некоторой аналогии развиваемых здесь идей с идеями формализма Борна–Инфельда в нелинейной классической электродинамике [6]. Соответствующий лагранжиан гравитационного поля мог бы быть записан, например, в виде $L = \Lambda\left(1-\sqrt{1+2Rl_0^2}\right)$ или $L = \Lambda\left(1-\sqrt{1+2Rl_0^2 - Dl_0^4}\right)$.

Существенным принципиальным отличием является то, что уравнения всех полей нелинейны лишь в рамках формализма общей теории относительности. Лишь в рамках общей теории относительности возникает константа предельной плотности или длина Планка, на которой должны обрезаться все расходимости. С этой точки зрения естественно полагать, что вычисления вакуумных средних в таком формализме не должны содержать бесконечностей. Но возможно, что замкнутая теория всех полей ("Великое Объединение") должна своим специфическим механизмом изгнать все расходимости, кроме логарифмических. Для степенных расходимостей глубокое обрезание на планковской длине может дать конечные, но слишком большие значения.

Таким образом, старые соображения [1, 3] о решающей роли гравитации в проблеме расходимостей, возможно, имеют под собой реальные основания.

---

[2] Для варианта вечно осциллирующей вселенной необходимо, чтобы каждый цикл осцилляции начинался с одним и тем же значением энтропии, т.е. с одними и теми же параметрами мира де Ситтера.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ландау Л.Д., Абрикосов А.А., Халатников И.М.* // Докл. АН СССР. 1954. Т. 95. С. 1177.

2. *Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М.* // ЖЭТФ. 1979. Т. 78. С. 20.

3. *Марков М.А.* // Там же. 1947. Т. 17. С. 848.

4. *Мостепаненко В.М.* // Ядер. физика. 1980. Т. 31. С. 1690.

5. *Старобинский А.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 30. С. 79.

6. *Born M., Infeld L.* // Proc. Roy. Soc. London A. 1934. Vol. 147. P. 522.

7. *Hawking S.W., Ellis G.F.* The large scale structure of space-time. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1973.

8. *Starobinsky A.A.* // Phys. Lett. B. 1980. Vol. 91. P. 99.

SOME REMARKS ON THE PROBLEM OF VERY EARLY UNIVERSE*

INTRODUCTION

The present paper, concerning the problems of the very early universe, is aimed not at listing what is known about the physics of extreme matter states typical of the "very early universe", but at investigating the "reserves of arbitrariness", which can be utilized for building different theories of the very initial stage of the history of the universe.

We should recall that the matter density in our Universe at the present time is such that it is not excluded that its metric is closed. Thus, its collapse in future is not excluded. Let us call a theory "complete" or "perfect" if in its framework a consistent description can be given to the origin of the universe, to the period corresponding to the classical singularity, to the subsequent history of the universe and its possible collapse.

The most complicated version, which could help to verify the efficiency of such a "perfect theory", is a perpetually oscillating universe. This is much richer in its difficulties than, for example, an open universe: the problem of entropy increase both in the course of expansion and contraction [32], the description of the collapse etc. But it should be especially emphasized that this version does not deal with the origin of the universe, which may appear to be the most difficult problem concerning the universe.

1. ASYMPTOTIC FREEDOM OF GRAVITATIONAL INTERACTIONS AND THE PROBLEM OF THE UNIVERSE SINGULARITY

As is known, the viewpoint was expressed long ago that the classical description of the universe is inapplicable near the classical singularity. General hopes were cherished for the replacement in this region of the classical description by a quantum description. But a

---

* The Very Early Universe / Ed. G.W. Gibbons, S.W. Hawking, S. Siklos. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1983. P. 353–371.

consistent quantum theory of gravitational fields has not yet been created. The promising ideas of grand unification of all interactions have not been concretely realized either.

In recent years some models have been considered in which the gravitational field is left classical, but the state of matter has violated energy dominance

$$p = -\varepsilon \tag{1}$$

in regions close to the singularity under conditions of super-high matter density.

In other words, if the principle of energy dominance ($\varepsilon + 3p > 0$) was regarded earlier as a firm principle leading inevitably to the appearance of a singularity in the history of the universe, now some hopes appeared that under conditions of superdense matter, more precisely, near the classical singularity, there may appear a state with violated energy dominance. As is known, energy dominance violation is typical for all de Sitter type or steady-state universes [16]. To say it differently, theories are being sought at present in which at initial moments the Friedman universe turns out to be de Sitter or steady-state.

The de Sitter version is developed in a number of papers taking into account the one-loop approximation in the energy-momentum tensor [5, 10, 31], i.e. the corrections leading to vacuum polarization and to particle production by a strong gravitational field. The vacuum-like state of matter seems also to appear in a natural way in phase transitions of matter at superhigh temperatures in the early universe [4, 18].

In macroscopic physics a state with violated energy dominance has analogs in the states of superheated liquid or supercooled vapour. The high instability of such states is a very favourable property since there must evidently be a rapid transition from the vacuum-like state with $p = -\varepsilon$ into the ordinary state $p < \varepsilon$ typical of our universe.

In the above-mentioned attempts to consider the effects of polarization and particle production in a strong gravitational field, the latter is not quantized. The applicability of the theory in limited to the following condition

$$R_{\mu\nu\lambda\delta} R^{\mu\nu\lambda\delta} < \frac{1}{l_{\mathrm{Pl}}^4}, \tag{2}$$

where l_{Pl} is the Planck length.

If, for the solution of fundamental problems of cosmology and field theory, one can really limit oneself to the condition (2), such a situation would be a most valuable present to theorists, a favour from nature.

In ref. [24] an attempt is made to interpret the appearance of the vacuum-like state as asymptotic freedom of all interactions, including gravitational ones, in the case when particles of matter appear to be at some super-small distances from one another.

Formally, we are dealing with the transformation of the right-hand side of the Einstein's equation $\varkappa T_{\mu\nu}$ into the Λ-term of de Sitter's universe, when in the process of collapse the universe approaches the classical singularity

$$\varkappa T_{\mu\nu} \to \Lambda g_{\mu\nu} \quad \text{as} \quad R \to 0. \tag{3}$$

It was suggested [25] that this asymptotic freedom effect appears when account in $T_{\mu\nu}$ is taken of quantum corrections for matter fields (vacuum polarization, particle production) in the one-loop approximation. It seems that this consideration can be illustrated even in classical language.

Indeed, the well-known classical model of an expanding universe with $p = 0$ has an expansion law of the form

$$R = (9/2\, M\varkappa)^{1/3} t^{2/3}, \tag{4}$$

where M is the total mass of the universe.

Formally, asymptotic freedom could arise either from a decrease of the gravitational constant at small distances, i.e. at small t; for example,

$$\varkappa(t) = \varkappa_0 \left(\frac{t}{t_0}\right)^n, \tag{5}$$

or from time dependence of the mass M

$$M = M_0 \left(\frac{t}{t_0}\right)^n, \tag{6}$$

which can naturally be interpreted as the creation of matter. Or else, the factor $\left(\frac{t}{t_0}\right)^n$ could be referred to the combination

$$\varkappa M = \varkappa_0 M_0 \left(\frac{t}{t_0}\right)^n. \tag{7}$$

In other words, at small times $0 < t < t_0$, where t_0 is, for instance, the Planck time

$$t_0 = t_{\text{Pl}} = \left(\frac{\hbar\varkappa}{c^5}\right)^{1/2} \sim 10^{-43}\ \text{sec}$$

the law (4) takes the form

$$R = (9/2\, M_0 \varkappa_0)^{1/3} \left(\frac{t}{t_{\text{Pl}}}\right)^{n/3} t^{2/3} \tag{8}$$

and for $t > t_{\text{Pl}}$ is goes back to its original form (4).

It is noteworthy that in the case (4) the acceleration is negative:

$$\ddot{R} = -2/9\,(9/2\, M_0 \varkappa_0)^{1/3} t^{-4/3} \tag{9}$$

but in the case of the law (8), if $n > 1$, the acceleration is positive. If pressure is also taken into account the acceleration is

$$\ddot{R} = -\frac{4\pi\varkappa}{3c^2} R(\varepsilon + 3p). \tag{10}$$

For radiation $\left(p = \frac{1}{3}\varepsilon\right)$, R is proportional to $t^{1/2}$:

$$R = \left(\frac{32\pi}{3c^2}\tilde{k}\varkappa\right)^{1/4} t^{1/2}, \tag{11}$$

where $\tilde{k} = \varepsilon R^4$. If now the time dependence in (11) is altered:

$$t^{1/2} \to \left(\frac{t}{t_0}\right)^{n/4} t^{1/2}$$

we get positive acceleration for $n > 2$. Eq. (10) shows that this implies a new equation of state with $\varepsilon + 3p < 0$. Thus we see that asymptotic freedom of the form (7) actually causes energy dominance violation.

In their preprint "Quantum gravity removes classical singularities" Frolov and Vilkovisky [13] consider the problem of collapse in a one-loop approximation proceeding from a Lagrangian which takes into account terms of the type $R_{\mu\nu}\ln(\Box R^{\mu\nu})$. They show that the singularity of a collapsing object vanishes: there appears a 'potential' of the type

$$\phi = \frac{A}{r}(1 - \exp(-r/l_{\mathrm{Pl}})).$$

For small r

$$\phi \sim A/l_{\mathrm{Pl}}. \tag{12}$$

If we assume without any contemplations that the potential has the form (12) when $0 < t < t_p$, then from equality of the kinetic and the potential energies $\frac{1}{2}\dot{r}^2 = \frac{\varkappa M}{l_{\mathrm{Pl}}}$, we would obtain

$$r \sim (2\varkappa M)^{1/2}\left(\frac{t}{l_{\mathrm{Pl}}}\right)^{1/2} t^{1/2}$$

instead of the expansion law (11).

It is natural that an expansion law of the type (8) could be obtained as a result of the appearance of a corresponding "static potential". We have used the words "static potential" in inverted commas since, in fact, we are dealing with a dynamic picture, involving equations with higher derivatives. In this sence the power n in the formulation of asymptotic freedom probably arises specifically from the higher derivatives in the quantum corrections. Static potentials of this form in the framework of a second-order equation were considered in detail already in that remote time when there were attempts to solve the problem of divergences in electrodynamics by introducing ad hoc formfactors. Infortunately, the author spent much time searching for such possibilities until he came to the conclusion that the

formfactor providing finiteness of diverging quantities cannot be static, but must in some sense be dynamically deformable, otherwise there appears contradiction with Special Relativity, with finiteness of causal signal propagation [19]. Already in those remote times the hopes of solving the problem of divergences were associated with the specific nature of General Relativity [6].

1.1. The Horizon Problem

It is known that there is a difficulty in understanding how one should explain, within the universe expansion laws discussed at the present time $\left(R \sim t^{2/3},\ p = 0 \quad \text{or} \quad R \sim t^{1/2},\ p = \frac{1}{3}\varepsilon\right)$ the homogeneity of the universe in the absence of causality among different regions in the whole course of the universe evolution [14, 29]. Formally this difficulty is expressed by the fact that the ratio of the length of the causal signal $l = ct$ to the scale factor R tends to zero, not to infinity, as is required by causality. The ratio

$$\frac{l}{R} \sim \frac{ct}{at^n} \to \ \sim t^{1-n}$$

tends to zero if $n < 1$. If there exists an asymptotic freedom of the form (7) with $n > 1$, the ratio l/R tends to infinity.

Frolov and Vilkovisky [13] analyse the limiting case $n = 1$, $\frac{l}{R} \to \text{const}$ but it is possible that here we also deal with the case of $n > 1$ if we bear in mind the approximations made.

The duration of causality depends both on the value of the power in (7) and on the value of t_0. From some viewpoints it is even reasonable not to associate t_0 with t_{Pl} since times earlier than t_{Pl} may turn out to have no physical meaning at all.

In a closed universe another length may also have a physical meaning. This is

$$l_0 = (l_{Pl} R_0)^{1/2},$$

where R_0 is the radius of the universe at the moment of its maximal expansion. This length is associated with the time

$$\tau_0 = \frac{l_0}{c}.$$

For our universe ($R \sim 10^{28}$ cm):

$$l_0 \sim 10^{-3}\,\text{cm}.$$

l_0 is just the dimension acquired by our universe when it expands by the law (11) for the Planck time $t_{Pl} \sim 10^{-43}$ sec.

1.2. Matter density ρ in the time interval $0 < t < t_{Pl}$

According to the formula for the gravitating matter density at early times, $\rho \sim \frac{1}{\varkappa t^2}$, which is independent of the equation of state, the density ρ at the Planck time $t_{Pl} \sim \left(\frac{\hbar\varkappa}{c^5}\right)^{1/2}$ takes the so-called quantum value ρ_q:

$$\rho_q \sim \frac{c^5}{\hbar\varkappa^2} \sim 10^{94}\ \mathrm{gr \cdot cm^{-3}}.$$

Of course, variation of the density at $t < t_{Pl}$ is also one of the uncertainty factors. Among various suggestions, the one that is distinguished is that it should be constant for $t < t_{Pl}$ and equal to ρ_q. If matter creation takes place in this case, the universe must be steady-state-like for $0 < t < t_{Pl}$. As is known, such a universe, the same as the de Sitter universe, is characterized by a state with violation of the energy dominance condition [16]. The assumption that matter density cannot be more than ρ_q is attractive in the sense that it is an essential limitation, the appearance of which in our physics testifies to great progress in our understanding of nature. Suffice it to recall the limitations imposed by the knowledge that signal velocities cannot exceed the velocity of light and that the quantum of action cannot be less than ħ. Of course, one cannot exclude a priori the possibility of $\rho > \rho_q$.

But the existence of the limiting density can play an important role in preventing unlimited increase of density perturbations at the end of a contracting universe. The dependence of the gravitational constant on density ρ can be formulated explicitly by rewriting the Einstein equations in the form

$$R_\mu^\nu - \frac{1}{2}R\delta_\mu^\nu = \frac{8\pi\varkappa}{c^5}T_\mu^\nu\left(1-\left(\frac{\rho}{\rho_q}\right)^2\right)^n - \Lambda\left(\frac{\rho}{\rho_q}\right)^n\delta_\mu^\nu.$$

If $\rho = \rho_q$, we have the de Sitter world: $R_\mu^\nu - \frac{1}{2}R\delta_\mu^\nu - \Lambda\delta_\mu = 0$. If $\hbar \to 0$ we have Einstein's equations. Instead of ρ one can put R/c^2 or T/c^2, or even $R_{\mu\nu\sigma\lambda}R^{\mu\nu\sigma\lambda}/c^2$. Using the property of G_μ^ν: $G_{\mu,\nu}^\nu = 0$ we can get a condition for $T_{\mu,\nu}^\nu$ which describes the disappearance of matter during the process of collapse. This version of the theory will be considered elsewhere.

It follows from the formulation of the problem that we are considering a closed model of the universe. This has in our opinion a great advantage over the open universe: in a closed universe the total energy is equal to zero, and both the production and the disappearance of matter particles are admissible without violation of the energy conservation law as a whole. If the phenomenon of asymptotic freedom in the formulation (7) can be considered as associated with the process of matter creation at the initial moment of the universe it seems that an inverse process, a collapse, must be accompanied by the "disappearance" of matter,

provided we want to have an exactly repeated version of a perpetually oscillating universe. If such a possibility is excluded, if after collapse the initial state cannot be repeated exactly, the same problem of the origin of the initial state, which we face in the open universe version, remains unsolved. The requirement of asymptotic freedom in the form (7) admits an interpretation which implies formally a decrease of the gravitational constant. It is only the non-zero gravitational constant that enables physical manifestation of gravitating matter, provided that, as in this case, no other forces are present. It can be said in this case (collapse, ($\varkappa(t)$)) that the "weight" of the matter becomes increasingly smaller. One can say, of course, that matter transforms into another "less weighty" state. But the question arises how far this "decrease" of matter may go. If gravitational properties of matter vanish completely, we again face the problem of the origin of the universe. If we assume that the mass density cannot exceed the quantum value ρ_q, our universe would reach this value at the radius $R \geqslant 10^{-13}$ cm.

The universe could stop contracting, and from this radius $R \sim 10^{-13}$ cm a new phase of expansion would begin. But the final radius depends on the amount of matter created both in the process of expansion and contraction. This amount would change (and entropy too) in any new cycle of expansion and contraction, and we would again face an unsolved problem of the universe origin. But at a further decrease of the universe radius the mass density can remain constant only if $\varkappa(t)$ decreases correspondingly at smaller distances.

In order not to contradict the assumption that ρ_q remains constant in the course of further contraction, we must put forward a certain new hypothesis about the minimum radius which can be reached in the collapse. It is essential in this case that this radius must have the same numerical value in each expansion and contraction cycle. We can point out one such possibility, when the discussed character of collapse is realized automatically. We mean a model of the universe which is almost closed, with a stable external mass. In the outer space, this world has all the properties of a black hole. If this is the question of the stability of a black hole, this may be the stability of its lower state only, the stability of a black hole with the Planck mass, i.e. the maximon stability. (A maximon is an elementary black hole with mass $(\hbar c/\varkappa)^{1/2}$.) The mass conservation law would regulate the final stage of universe contraction. However, there exist very weighty arguments against the stability of the final state of a black hole [11, 15].

The main objection to the stability of maximons is a general objection to the production in the early universe of stable particles of large masses, specifically, massive monopoles, maximons, etc. The density of massive particles falls with the expansion of the universe as $\sim 1/R^3$, and the radiation density falls as $\sim 1/R^4$. So when particles of large masses are created in the early universe, the state of matter with $p = 0$ appears rapidly with all the ensuing astrophysical consequences, in particular, for the production of ^{4}He etc. [11].

The stable maximon hypothesis could be brought into agreement with the available astrophysical facts if some process of stable maximon vanishing could be found. Markov [23, 26] discusses such a process. Indeed, two elementary holes (maximons) can form one, unstable, black hole of large mass. This black hole, radiating in the usual matter, transforms into one maximon. So, a reservoir filled with an arbitrarily large number of stable maximons may in principle turn out in some time to be in a state, when only a single maximon remains in the reservoir [15]. But if there exists a large probability of maximon formation from the

products of their decay, i.e. from ordinary matter, then the situation in cosmology becomes again more complicated.

It should be noted that in the cosmological problem it is required, on the one hand, that the number of primary maximons should be decreased by many orders of magnitude, and on the other hand, that some factors exist that would suppress the probability of new maximon production from the decay products of primary maximons.

2. IS THE FINAL STATE OF THE BLACK HOLE STABLE OR UNSTABLE?

2.1. Creation of mini-holes and the conservation of entropy

The entropy of a black hole of mass M_{BH} is expressed as

$$S_{BH} = 4\pi\left(\frac{M_{BH}}{m_{Pl}}\right)^2 k \sim 10^{-5} M_{BH}^2,$$

where $k = 1{,}3 \cdot 10^{-16}$ erg · deg^{-1} is the Boltzmann constant. If black holes are formed in a medium with $p = \frac{1}{3}\varepsilon$ at temperature T, the entropy of a volume V of such a medium is

$$S_T = \frac{16\sigma}{3c} V T^3,$$

where $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-5}$ gr · sec^{-3} · deg^{-4} is the Stefan–Boltzmann constant.

Both the mass density ρ and the temperature T are determined by the cosmic time

$$\rho = \frac{4{,}5 \cdot 10^5}{t^2} = \frac{3}{32\pi\varkappa t^2},$$

$$T(^\circ\mathrm{K}) = 1{,}5 \cdot 10^{10} \alpha^{-1/4} t^{-1/2},$$

where α is a dimensionless coefficient larger than unity, that takes into account that different sorts of particles are in equilibrium. For simplicity we assume $\alpha = 1$.

If a black hole is formed of a matter volume $V = M_{BH}/\rho$ then the expression for the volume entropy can be written in the form

$$S_T = \frac{16\pi}{3c} \frac{M_{BH}}{\rho} T^3$$

or, expressing S_T in terms of t:

$$S_t \sim 10^{11} t^{1/2} M_{BH}.$$

The equality $S_{BH} = S_t$ holds provided that

$$M_{BH} \approx 10^{16} t^{1/2}.$$

Thus, at $t \sim 10^{-24}$ sec the entropies S_t and $S_{\rm BH}$ are equal only for $M_{\rm BH} \sim 10^4$ gr. In this period it is only for masses $M_{\rm BH} > 10^4$ gr that black holes are formed with an increase of entropy.

So, the entropy of a black hole of mass 10 gr is given by

$$S_{\rm BH} \approx 10^{-5}\ \text{erg} \cdot \text{deg}^{-1}$$

while the entropy of a corresponding mass of relativistic medium at the moment $t \sim 10^{-30}$ sec is equal to

$$S_t \sim 10^{-3}\ \text{erg} \cdot \text{deg}^{-1},$$

i.e. larger by two orders of magnitude.

One can believe that in these cases black holes and maximons are not formed at all [30].

2.2. Processes responsible for the disappearance of stable maximons

In a medium with a relatively high maximon density, such mini-maximon systems as maximonium, maxitritium, maxihelium, etc. are likely to be formed [23]. These systems are unstable: emitting gravitational waves (if the maximons are not electrically charged), the systems collapse in the end. Only one maximon remains after a complete collapse of each such system.

The time of such a collapse

$$t \sim \frac{c^5 r_0^4 \cdot 100^{-3}}{\varkappa^3 m_{\rm Pl}^3} \sim 10^{87} r_0^4.$$

At the initial value $r_0 \sim 10^{-17}$ cm the maximonium life-time is of the order of that of our universe:

$t \sim 10^9$ years.

Apparently, the most important and intensive process of maximon vanishing may proceed not through mini-maximon system formation, but through the same black mini-holes, when the maximon component of a cosmic medium considerably increases, but the maximon density is still several orders of magnitude lower than the radiation mass density. Indeed, suppose the maximon formation process leads to the appearance of a total maximon mass $M \sim 10^{55}$ gr at $t \sim 1$ sec when the radiation density $\rho_1 \sim 10^5/t^2 = 10^5$ gr $\cdot$ cm^{-3} and the universe dimensions, according to (11), are

$$R_1 \sim 10^{17} t^{1/2} \sim 10^{17}\ \text{cm}, \quad V_1 \sim R^3 \approx 10^{51}\ \text{cm}^3.$$

Then the total radiation mass (i.e. the mass of relativistic matter, Wheeler's geons, etc.) $\rho_1 V_1 \sim 10^{56}$ gr at this moment is an order of magnitude larger than the total maximon mass and, accordingly, the ratio of the densities $\rho_1/\rho_m \sim 10$.

So, we are now dealing with the case

$p = \gamma\varepsilon$, where $\gamma \sim 1/3$.

Suppose at this moment a black hole of mass $\sim 10^5$ gr is formed. Then this black hole must

contain 10^4 gr maximons, and its decay must lead to the disappearance (transformation back to radiation) of n maximons, where

$n \sim 10^9$ particles.

This scenario requires, of course, further consideration. The previous remarks were intended to draw attention to the existence of the situation when there is an intensive process of vanishing of stable maximons.

On the other hand, the formation of very small mini-black holes (pbh – primordial black holes) may be suppressed by the law of conservations of the entropy and the formation of larger pbh seems to be strongly limited [11, 12].

It may turn out as well that the final number of stable maximons is relatively small, that at the present time the maximum mass density $\rho_m < 10^{-29}$ gr · cm^{-3}, and that our universe is open. But in this case the missing mass could be made up of heavy neutrinos which can form not directly observable cosmic bodies of huge masses and dimensions [20].

Let us now consider other scenarios of the early universe, which can be admitted at the present time by the lack of our knowledge of the structure of the primary matter itself at a time $t \sim t_{\mathrm{Pl}}$.

2.3. Possible structures of primary matter

We mean possible structures of matter originating at $t \sim t_{\mathrm{Pl}}$. According to some authors, this matter may arise in the form of very heavy elementary particles. At any rate, in extremely strong gravitational fields the probability of particle creation is proportional to some power of their mass [1], which seems natural in the case of gravitational forces. Assume that an elementary particle of maximum possible mass is a maximon. On the one hand, a maximon may appear to be an elementary black hole of Planck mass and dimensions. On the other hand, it may be a particle of the same Planck dimensions, but with a structure essentially different from a black hole. Such a maximon could also be referred to as papapetron. (One possibility, pointed out by Papapetrou [28], is an electrically charged particle, in which the forces of electric repulsion are balanced by gravitational forces. See Markov [7] and Markov & Frolov [8] for further discussion.)

These elementary particles are distinguished from the series of elementary particles in that their gravitational radius coincides with their Compton length l_c:

$$l_c = \frac{\hbar}{m_n c} \sim \frac{m_{\mathrm{Pl}}}{c^2} \sim r_{\mathrm{gr}} \sim 10^{-33}\,\mathrm{cm}.$$

The relation $l_c \gg r_{\mathrm{gr}}$ may be considered as one of the conditions defining the concept of an elementary particle [26]. We introduced the term "maximon" for particles of mass $m = (\hbar c / \varkappa)^{1/2}$ [7, 21] if these particles could arise from collapsing regions of matter in a superdense medium in the very early universe. In the present paper we discuss another situation, when these particles (maximons) are not created from some other matter, but appear already produced in strong gravitational fields, like all other elementary particles.

Black holes of large masses may be created from existing black holes. As this process proceeds, entropy increases. The increase due to the confluence of two black holes of masses

M_1 and M_2 is

$$\Delta S \sim \frac{M_1 M_2}{m_{Pl}} k,$$

where k is the Boltzmann constant.

In the phase of maximum expansion, black holes occupy the entire volume within the Schwarzschild sphere. These volumes are proportional to M_1^3 and M_2^3, and the volume occupies by the two black holes is

$$V_0 \sim M_1^3 + M_2^3.$$

The maximum volume of a black hole arising from confluence of the two previous black holes is

$$V_f \sim (M_1 + M_2)^3,$$

and the ratio of the volumes V_f and V_0 in the case $M_1 = M_2$ is

$$\frac{V_f}{V_0} = 4.$$

For the confluence of N particles this ratio increases like N^2. The matter within the Schwarzshild sphere is not static: it either collapses or anticollapses. If a black hole has internal Planck dimensions and an external mass equal to the Planck mass, the matter density in it is quantum (ρ_q). If it is not decaying, such a black hole represents some degenerate case: it can neither collapse, nor anticollapse if one assumes that the mass density cannot exceed ρ_q. In other words, the requirement of the existence of a limiting density is very strong and leads to nontrivial consequences.

If the primary matter is actually a maximon "liquid" comprising stable black holes in the above-mentioned state, then the entire volume of the maximon "liquid" seems to be some stable volume of matter. If this volume begins, nevertheless, expanding, like in the Friedmann case, there must be some physical reasons for the initial start leading to such an expansion. The question arises, whether the confluence of maximons in the indicated metastable liquid can offer such a possibility. (From a topological point of view the maximon liquid is a model of a quasi-isotropical space.)

Indeed, in a black hole formed even of two maximons, there appears a possibility, or rather a necessity, of its anticollapse. (It cannot collapse if ρ cannot be greater than ρ_q. Initially, the matter cluster is more like a white hole.) The volumes of larger "black holes "thus formed and, accordingly, of the entire maximon liquid would also expand correspondingly.

The described process of the appearance of large holes out of stable maximons resembles boiling of a superheated liquid and the formation of gas bubbles. Here the new phase started from "molecules" (embryos) of the "liquid" itself. As in this case, the resulting bubbles of maximon liquid can grow.

If a "future" black hole of such a mass is produced in a medium with a density $\rho_q \sim 10^{94}$ gr · cm^{-3} this cluster of matter has initial dimensions

$r_i \sim 10^{-28}$ cm.

The final dimension of an anticollapsing cluster of mass $M \sim 10^{10}$ gr (i.e. its gravitational radius) is

$r_{\text{gr}} \sim 10^{-18}$ cm.

A cluster of matter with mass $\sim 10^{10}$ gr could appear in a medium with density $\rho = \rho_q$ for time $t \sim r_i/c \sim 10^{-39}$ sec. If we assume that the mass densities exceed ρ_q, the time of formation of such massive "future" black holes could be arbitrarily small. Here we again suffer from lack of knowledge.

We are also ignorant of such important things as how in these small times the horizon problem is solved in nature; what is the duration of the initial causal interaction in the regions occupied by primary matter from the very start of the Friedmann phase or even earlier, in the "steady-state" phase, the necessity of which is connected with the assumption of the initial creation of matter with a constant quantum density ρ_q. This problem is also connected with the appearance of initial inhomogeneities necessary for galaxy formation.

We see that the assumption of the existence of a limiting final mass density (ρ_q) has far-going consequences. But at the same time this assumption is in no way grounded – it is merely not inconsistent in itself and is for the moment admissible.

On the basis of these considerations we can say nothing about the transition phase from the steady state to a clearly expressed Friedmann era, how long this transition phase lasts and what the expansion law of the resulting Friedmann universe is. But it is true that if our scenario is realistic, then a radiation era must begin at some time. The decay of black mini-holes created must result in the appearance of ultrarelativistic matter.

We shall not evidently encounter any difficulties with this scenario if this process, for example, by $t \sim 10^{10}$ sec, leads to a radiation density $\rho_r = \varepsilon_r/c^2$ still higher than that of the remaining maximons.

Unlike the previous standard scenario, this one involves the vanishing of primary stable maximons throughout the history of the universe. Maximon annihilation occurs at the beginning due to mini-maximon system formation, black hole and "blini" (pancake) formation in a maximon medium. The formation of blinis leads to local increases in maximon density and hence to the higher probability of their disappearance. At subsequent moments of the radiation era, maximons are annihilated by black hole formation out of a two-component (radiation and maximons) medium.

With our ignorance of the structure of matter at the initial moment of the universe, we could construct numerous possibilities for its different forms; we could assume that the matter from the very beginning was, for example, a set of white holes. This possibility was discussed in connection with Ambartsumyan's hypothesis about the creation of stellar matter due to a superdense matter outflow from some centres. Novikov [9] and Neeman [27] tried to interpret this hypothesis, associating the phenomenon with the appearance of white holes in the very early universe.

White holes are clusters of anticollapsing matter concentrated at the initial moment in regions of smaller radius than the gravitational radius of the cluster. For instance, in the

above example, the anticollapsing matter concentrated in the region 10^{-18} cm with a total mass of 10^{10} gr could be just as well a white hole if in the course of further development of its anticollapse, part of this matter could get out from under the Schwarzschild radius. White holes in the very early universe could play an especially important role if we give up for the moment the arbitrary hypothesis about the existence of the limiting matter density. The hypothesis of white holes expanding by their own laws, for example, with a considerable delay in the rates of the universe expansion as a whole, would change essentially the picture of the physics of a very early universe. If one does not associate the white hole expansion with Ambartsumyan's hypothesis, delays in the expansion of initial white holes could be within the first minute of the existence of the universe.

Thus, the topology of the universe from the very start can be very complicated. The universe could also be composed of a large number of semi-closed worlds, each of which transforms in the end into a stable maximon. These objects can be referred to as second-kind black holes [22]. They were first discovered theoretically by O. Klein [17] and called by him "nonstationary objects with external world" (mit Aussenwelt).

Apparently, the manifestation of these objects in the external space does not differ from the behaviour of black holes. After complete evaporation, this object is transformed into a closed Friedmann universe and vanishes as an object of observation in the external space. In the process of evaporation, when the mass of this object becomes equal to the maximon mass, the object either vanishes immediately or remains a stable måximon. We have discussed above the arguments in favour of representing the universe as such an almost closed Friedmann universe, a stable maximon enclosed in the external space, which can also be an internal space of a "larger" maximon etc. In our universe there can also exist maximons, which can also be almost closed huge universes with galaxies and civilizations. For such a conception of an infinite universe, the appearance of a new relativity is typical, relativity of the concept "micro" and "macro".

CONCLUSION

As is seen from the text, if the question of the universe structure could depend on the author's wish, the picture of the development of a perpetually oscillating universe would be as follows: an almost closed universe with a total mass equal to the maximon mass is at present anticollapsing. After it reaches the maximum possible expansion, it will recollapse until the mass density reaches a quantum value. In the course of further contraction the mass density remains constant, but the total mass decreases owing to the weakening of gravitational interactions, which results from asymptotic freedom. The universe enters a peculiar steady-state like phase, and its final vanishing is forbidden by conservation of its external mass. In the final state of the contraction phase it can be interpreted as a de Sitter universe of Planck dimensions, whose metric joins the external Schwarzschild-type metric. Thus, the de Sitter stages must play the role of the so-called "purgatory", each time purifying the oscillations of the universe from entropy and energy accumulated in its Friedman phase. Only under these conditions is a perpetually oscillating universe possible [32].

In conclusion I would like to express my acknowledgements to V.A. Berezin and V.P. Frolov for numerous fruitful discussions.

REFERENCES

1. *Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М.* Квантовые эффекты в сильных гравитационных полях. М.: Атомиздат, 1980.
2. *Зельдович Я.Б.* // Успехи физ. наук. 1977. Т. 123. С. 478.
3. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* Структура и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975.
4. *Линде А.* Препринт № 229/ФИАН СССР. М., 1981.
5. *Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М.* // ЖЭТФ. 1980. Т. 78. С. 20.
6. *Марков М.А.* // Там же. 1947. Т. 17. С. 848.
7. *Марков М.А.* // Там же. 1966. Т. 51. С. 878.
8. *Марков М.А., Фролов В.П.* // ТМФ. 1972. Т. 13. С. 41.
9. *Новиков И.Д.* // Астрон. журн. 1964. Т. 41. С. 1075.
10. *Старобинский А.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 30. С. 719.
11. *Хлопов М.Ю., Полнарев А.Г.* Препринт Pr-634 / ИКИ АН СССР. М., 1981.
12. *Carr B.J.* // Proc. 2nd Moscow seminar on quantum gravity. Moscow, 1981.
13. *Frolov V.P., Vilkovisky G.A.* Quantum gravity removes classical singularities. Trieste, 1979. (Prepr. / Intern. centre for theor. phys.; Ic/79/69).
14. *Guth A.H.* // Phys. Rev. D. 1981. Vol. 23. P. 347.
15. *Hawking S.W.* // Ibid. 1976. Vol. 13. P. 191.
16. *Hawking S.W., Ellis G.F.R.* // The large scale structure of space-time. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1973.
17. *Klein O.* Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit. Braunschweig: Vieweg, 1961.
18. *Linde A.* // Phys. Lett. B. 1982. Vol. 108. P. 389.
19. *Markov M.A.* // Nuovo cim. Suppl. 1956. Vol. 3. P. 760.
20. *Markov M.A.* // Phys. Lett. 1964. Vol. 10. P. 122.
21. *Markov M.A.* // Progr. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa. P. 85.
22. *Markov M.A.* Gravitational radiation and gravitational collapse. Dordrecht; Boston: Reidel, 1974. Holland and Boston USA.: Reidel D. 1974.
23. *Markov M.A.* Maximon-type scenario of the Universe. Moscow, 1978. (Prepr. / INR; P-0207).
24. *Markov M.A.* // Proc. 2nd Moscow Seminar on Quantum Gravity. Moscow, 1981.
25. *Markov M.A.* Is perpetually oscillating Friedman universe possible? Moscow, 1981. (Prepr. / INR; P-0227).
26. *Markov M.A.* On the maximon and the concept of elementary particle. Moscow, 1981.(Prepr. / INR; P-0208).
27. *Neeman Y.* // Appl. J. 1965. Vol. 141. P. 1303.
28. *Papapetrou A.* // Proc. Roy. Irish Acad. A. 1945. Vol. 51. P. 191.
29. *Rindler W.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1956. Vol. 116. P. 663.
30. *Sciama D.W.* // Vistas Astron. 1976. Vol. 19. P. 385.
31. *Starobinsky A.A.* // Phys. Lett. B. 1980. Vol. 91. P. 99.
32. *Tolman R.C.* Relativity, thermodynamics and cosmology. Oxford: Clarendon press, 1934.

ASYMPTOTIC FREEDOM AND ENTROPY IN A PERPETUALLY OSCILLATING UNIVERSE*

The idea that at the initial moment our Universe was a de Sitter universe of Planck dimensions is now very popular. In such a universe the energy-dominance principle is violated, and thus at the unitial moment the universe is not singular.

Moreover, the state of the de Sitter universe is unstable; in some sense it is similar to the state of an overheated liquid.

In this state there appears the possibility of a rapid production of matter and a transformation of a de Sitter to a Friedmann universe.

The de Sitter solutions appear when one deals with the Einstein equation, in the right-hand side of which the matter tensor is replaced by its renormalized vacuum mean value [1, 3, 4, 10].

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = (8\pi\varkappa / 3c^2)\langle T_{\mu\nu}\rangle_{\text{ren}} \tag{1}$$

at

$$R_{\mu\nu\lambda\delta} R^{\mu\nu\lambda\delta} < 1 / l_{\text{Pl}}^4, \quad l_{\text{Pl}} = (\hbar\varkappa / c^3)^{1/2}. \tag{2}$$

Expression (2) is the condition for applicability of the "one-loop" approximation. This condition suggests that in the modern theory lengths $l < l_{\text{Pl}}$ are inessential for the effects under consideration. It is possible that the Planck length plays the role of the fundamental length.

The most complicated problem is the origin of the universe, especially the origin of the initial de Sitter universe. This difficulty is absent in the case of a closed perpetually oscillating universe. However, there exist some other difficulties in this version, which already appear in the classical theory. As is known, both on expansion and on contraction of the universe the entropy increases, i.e. the real universe is heated, its total mass and the corresponding maximal dimensions increase with each oscillation [11]. Thus, in such a universe the problem of the origin also remains.

In a quantum consideration, when we deal with matter production at the moments when the universe originates, in the contraction phase it is necessary that the matter should disappear in the course of the transformation of a macroscopic Friedmann universe into a microscopic de Sitter universe.

Below we try to construct such a formalism within which, when contracting, an oscillating Friedmann universe transforms into a de Sitter universe of Planck dimensions. A decisive role in this formalism is played by the assumption about the existence of asymptotic freedom for all interacting fields. So, to illustrate the formalism, we may assume that the gravitational constant $\varkappa$ here depends on the energy density as, for example,

$$\varkappa = \varkappa_0[1 - (T_{\mu\nu}T^{\mu\nu} / b^2)]^n, \quad b = c^2\rho_{\text{Pl}}, \quad n \geqslant \frac{1}{2}, \tag{3}$$

---

* Phys. Lett. A. 1983. Vol. 94, N 9. P. 427–429.

where $T_{\mu\nu}$ is the energy-density tensor. In the simple case of dust-like matter, which is to be considered below solely for illustration of the type of the formalism,

$$T_{\mu\nu}=\rho\delta_{\mu}^{0}\delta_{\nu}^{0}, \quad T_{\mu\nu}T^{\mu\nu}=\rho^{2}c^{4},$$

where ρ is the mass density in a co-moving coordinate system. As a critical density it is natural to choose the Planck density

$$\rho_{Pl}=m_{Pl}/l_{Pl}^{3}=c^{5}/\varkappa_{0}^{2}\hbar,$$

$$\varkappa=\varkappa_{0}(1-\rho^{2}/\rho_{Pl}^{2})^{n}, \quad n\geqslant\frac{1}{2}. \tag{4}$$

In the process of universe contraction the densities $\rho\to\rho_{Pl}$, i.e. $\varkappa\to 0$. The Einstein equation with the Λ-term is modified as follows:

$$R_{\mu}^{\nu}-\frac{1}{2}R\delta_{\mu}^{\nu}=\frac{8\pi\varkappa_{0}}{3c^{2}}\left[T_{\mu}^{\nu}\left(1-\frac{\rho^{2}}{\rho_{Pl}^{2}}\right)^{n}-\Lambda'\left(\frac{\rho}{\rho_{Pl}}\right)^{2n}\delta_{\mu}^{\nu}\right], \quad n\geqslant\frac{1}{2}. \tag{5}$$

At low densities $\rho^{2}\ll\rho_{Pl}^{2}$, or $\hbar\to 0$, eq. (5) transforms into the classical Einstein equation. At $\rho=\rho_{Pl}$ eq. (5) describes the de Sitter universe [5, 7–9].

Designating the right-hand side of eq. (5) by K_{μ}^{ν}, we obtain an additional equation

$$K_{\mu;\nu}^{\nu}=0. \tag{6}$$

The covariant divergence of K_{μ}^{ν} vanishes because of the disappearance of the left-hand side of eq. (5).

Let us consider the closed Friedmann metric

$$ds^{2}=-c^{2}dt^{2}+a^{2}(t)(d\chi^{2}+\sin^{2}\chi d\Omega^{2}). \tag{7}$$

In the case $n=1$, condition (6) takes the form

$$\rho(\rho_{Pl}^{2}-\rho^{2})\,|\,(\rho_{Pl}+\rho)/(\rho_{Pl}-\rho)\,|^{\Lambda/\rho_{Pl}}=B/\alpha^{3}, \tag{8}$$

where B is the integration constant and $\Lambda=\nu\rho_{Pl}$. The case $\nu=2$ is considered below for the sake of illustration. At $\rho\ll\rho_{Pl}$ eq. (8) leads to the expression

$$\rho=B/a^{3}\rho_{Pl}^{2}. \tag{9}$$

Since the density ρ in this case must have the form $\rho=M/a^{3}$, where M is the total bare mass of the universe,

$$B=\rho_{Pl}^{2}M. \tag{10}$$

The analogue of the Einstein equation $G_0^0 = (8\pi\varkappa_0 / 3c^2)T_0^0$ in case (5) is to be rewritten as follows

$$\dot{a}^2 / c^2 + k = (8\pi\varkappa_0 / 3c^2)a^2(\rho - \rho^3 / \rho_{Pl}^2 + \Lambda'\rho^2 / \rho_{Pl}^2), \quad k = 1. \tag{11}$$

The cases $n = \frac{1}{2}$; 1 and $\nu = 1$ are considered in ref. [2].

When the collapse of the universe stops ($\dot{a} = 0$), eq. (11) takes the form

$$1 = (8\pi\varkappa_0 / 3c^2)a^2(\rho - \rho^3 / \rho_{Pl}^3 + \Lambda'\rho^2\rho_{Pl}^2). \tag{12}$$

Eqs. (8) and (12) determine the dimensions of the universe a_{min} and the matter density ρ_{max} at the moment when the collapse stops. According to eq. (8) the density ρ in the process of collapse is always lower than ρ_{Pl}, but can be arbitrarily close to this value.

At $\rho = \rho_{Pl}$ for the minimum universe dimensions there appears, according to (12), the relation

$$a_{min}^2 = 3c^2 / 8\pi\varkappa_0\Lambda', \quad \text{if} \quad \Lambda \sim \rho_{Pl}, \quad a_{min} \sim l_{Pl} = (\hbar\varkappa_0 / c^3)^{1/2}. \tag{13}$$

At the moment when the collapse stops (at a_{min}) eqs. (8) and (12) give for the density ρ_{max} with a very high accuracy the value

$$\rho_{max} \sim M\rho_{Pl} /(M + \rho_{Pl}a_{min}^3) = M\rho_{Pl} /(M + m_{Pl}), \quad m_{Pl} = (\hbar c / \varkappa_0)^{1/2} \sim 10^{-5}\,\text{gr}. \tag{14}$$

As follows from what has been said, the disappearance of matter is described by the equation $K^{\nu}_{\mu,\nu} = 0$. In this case the classical conservation law ($T^{\nu}_{\mu;\nu} = 0$) is violated: $T^{\nu}_{\mu;\nu} \neq 0$.

When a universe of the type of ours ($M \sim 10^{55}$ gr) collapses, the matter-conservation law is fulfilled to a great accuracy up to

$$a_1 \sim (M / \rho_{Pl})^{1/3} \sim 10^{-13}\,\text{cm}. \tag{15}$$

At a further collapse of the universe, when its dimensions diminish from $a_1 \to a_{min} = l_{Pl}$ the matter disappears since in this process the density ρ remains practically the Planck one. In other words, when the collapse develops from a_1 to $a = l_{Pl}$, the universe appears to be in a steady state.

A serious obstacle for realization of the classical model of a perpetually oscillating universe is the circumstance that in subsequent oscillations the minimum and maximum dimensions of the universe must increase more and more as the entropy grows in the course of the expansion of the universe [11]. In the model under consideration the universe always returns to one and the same minimum Planck dimension, i.e. with one and the same entropy value [6], and the larger the total "bare" mass of the universe, the higher is the abovementioned precision.

In other words, in the final stage of the collapse, the de Sitter universe is something like "purgatory" [7–9] where the universe seems to "purify" from the entropy and matter stored in the Friedmann phase.

A more general modified Einstein equation of type (5) (i.e. not only for a dust-like universe) can be also written in an explicit covariant form. It should be emphasized that an equation in the form (5) is obtained not by variation of the corresponding action.

If we derive equations of the abovementioned type by varying a corresponding expression for the action, it becomes evident that in this case the equations of the other fields determining the matter of the univere, must be modified too.

In this formalism the equations of all the fields arise as nonlinear ones.

The point is that covariant actions for these fields must contain expressions of the type

$$L(1 - T_{\mu\nu}T^{\mu\nu} / b^2)^n, \tag{16}$$

L is the lagrangian of the linear equations.

An equation of type (5) takes into account the quantum character of matter at its limiting densities. An equation of type (1) also takes into account the quantum effects at the same high matter densities. The asymptotic freedom in the form proposed here justifies the one-loop approximation, i.e. condition (2) is valid. Now the question arises whether the estimates of the contribution from the vacuum expectation value of the right-hand side of eq. (5) will be more essential for the description of a perpetually oscillating universe than the description given by eq. (1). By the very character of the formalism under consideration the equations obtained here must be finite without renormalization.

From the geometrical point of view indicated formalism is a formalism with the limiting value of the space curvature [5] or, is a formalism with a finite, i.e. Planck length, value. In principle, one can speak of a certain fifth spatial coordinate

$$x^5 = \left(m_{\mathrm{Pl}}^{1/3} / \rho_{\mathrm{Pl}}^{4/3}\right)\rho, \quad dx^5 = \left(m_{\mathrm{Pl}}^{1/3} / \rho_{\mathrm{Pl}}^{4/3}\right)d\rho. \tag{17}$$

The value of this coordinate is negligibly small at $\rho \ll \rho_{\mathrm{Pl}}$, and only as $x^5 \to x^5_{\max} = l_{\mathrm{Pl}}$. In this case we deal with a specific unification not of space and time, but of space, time and matter.

The author is greatly indebted to V.A. Berezin and V.P. Frolov for many fruitful discussions.

REFERENCES

1. *Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М.* // ЖЭТФ. 1980. Т. 78. С. 20.
2. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 214.
3. *Мостепаненко В.М.* // Ядер. физика. 1980. Т. 31. С. 1670.
4. *Старобинский А.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 30. С. 719.
5. *Frolov V.P., Markov M.A.* Preprint / INR. Moscow, 1983.
6. *Gibbons G.W., Hawking S.W.* // Phys. Rev. D. 1977. Vol. 15. P. 2738.
7. *Markov M.A.* Is a perpetually oscillating universe possible that passes through the region near the classical singularity in a state of metastable de Sitter universe. Moscow, 1981 (Prepr./INR; P-0227).
8. *Markov M.A.* // Proc. 2nd Moscow seminar on guantum gravity. Moscow, 1981.
9. *Markov M.A.* Some remarks on the problem of very early universe. Moscow, 1982. (Prepr. / INR; P-0254).
10. *Starobinsky A.A.* // Phys. Lett. B. 1980. Vol. 91. P. 99.
11. *Tolman R.* Relativity, thermodynamics and cosmology. Oxford: Clarendon press, 1969.

ОСЦИЛЛИРУЮЩАЯ ВСЕЛЕННАЯ В СЛУЧАЕ $p \neq 0$*

В работах [3, 6, 7] правая часть уравнений Эйнштейна

$$G_\mu^\nu = \frac{8\pi\varkappa}{c^4} T_\mu^\nu + \Lambda \delta_\mu^\nu = K_\mu^\nu \tag{1}$$

модифицировалась в виде

$$K_\mu^\nu = \frac{8\pi\varkappa}{c^4} \left\{ T_\mu^\nu \left(1 - \frac{T_\alpha^\beta T_\beta^\alpha}{b_0^2} \right)^n + \Lambda' c^2 \delta_\mu^\nu \left(\frac{T_\alpha^\beta T_\beta^\alpha}{b_0^2} \right)^m \right\}, \tag{2}$$

где $b_0 = \alpha \rho_{\text{Pl}} c^2$, $\rho_{\text{Pl}} = c^5 / \varkappa^2 \hbar$, $\Lambda' = \Lambda c^2 / 8\pi\varkappa$, $\Lambda \sim \beta / l_{\text{Pl}}^2$, α, $\beta \sim 1$.

В работах [6, 7] рассмотрен частный случай пылевидной вселенной: $T_{\mu\nu} = \rho c^2 \delta_\mu^0 \delta_\nu^0$, $p = 0$, $n = m = 1$, $\Lambda' / \rho_{\text{Pl}} = 2$.

Вообще говоря, правая часть уравнений в виде (2) представляет собой, в свою очередь, частный случай возможного обобщения уравнений Эйнштейна, имеющего вид [4]

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi\varkappa}{c^4} \{ h_i(T_i) T_{\mu\nu} + h_2(T_i) T_\mu^\alpha T_{\alpha\nu} + h_3(T_i) T_\mu^\alpha T_\alpha^\beta T_{\beta\nu} + f(T_i) \Lambda' g_{\mu\nu} \},$$

где $h_k(T_i)$ и $f(T_i)$ – произвольные функции от четырех инвариантов тензора энергии-импульса: $T_1 = T_\alpha^\alpha$, $T_2 = T_\alpha^\beta T_\beta^\alpha$, $T_3 = T_\alpha^\beta T_\beta^\gamma T_\gamma^\alpha$, $T_4 = T_\alpha^\beta T_\beta^\gamma T_\gamma^\delta T_\delta^\alpha$.

Так как левая часть уравнений (1) вследствие тождеств Бьянки удовлетворяет обобщенным уравнениям сохранения – ковариантная дивергенция левой части уравнений Эйнштейна обращается в нуль, то, следовательно, для правой части уравнений, т.е. для K_μ^ν, также должно выполняться условие

$$K_{\mu,\nu}^\nu = 0. \tag{3}$$

Как и в [6, 7], в настоящей работе используется метрика изотропной и однородной вселенной Фридмана:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t)[d\chi^2 + f^2(\chi)(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)] \tag{4}$$

(в закрытой модели при $k = +1$, $f(\chi) = \sin\chi$). Однако теперь в отличие от [6, 7] для тензора энергии-импульса $T_{\mu\nu}$ выбирается выражение для идеальной жидкости с уравнением состояния

$$p = \gamma \rho c^2. \tag{5}$$

---

* Теорет. и мат. физика. 1984. Т. 58, № 2. С. 163–168. Соавтор *Э Г. Аман.*

Соответственно тензор энергии-импульса

$$T_{\mu\nu} = (\rho + p / c^2) u_\mu u_\nu - g_{\mu\nu} p / c^2 \tag{6}$$

в сопутствующей системе отсчета, где 4-скорость u_μ имеет только одну компоненту, отличную от нуля ($u_\mu = c\delta_\mu^0$), выражается в виде

$$T_{\mu\nu} = \rho c[(1+\gamma)\delta_\mu^0 \delta_\nu^0 - \gamma g_{\mu\nu}],$$

а $T_2 = T_\alpha^\beta T_\beta^\alpha$ в этом случае имеет вид

$$T_\alpha^\beta T_\beta^\alpha = (3p^2 / c^4 + \rho^2) = (1 + 3\gamma^2)\rho^2 c^4. \tag{7}$$

Выражение (2) с учетом (6) и (7) можно записать в виде суммы тензоров энергии-импульса для двух различных идеальных жидкостей:

$$\frac{K_{\mu\nu}}{8\pi\varkappa / c^4} = \left[(\rho_m + \rho_v) + \frac{1}{c^2} \right] u_\mu u_\nu - \frac{p_m + p_v}{c^2} g_{\mu\nu}, \tag{8}$$

где [3, 6, 7]

$$\rho_m = \rho(1 - \rho^2 / b_1^2)^n \tag{9}$$

– эффективная плотность,

$$p_m = \gamma\rho c^2 (1 - \rho^2 / b_1^2)^n \tag{10}$$

– эффективное давление материи; соответственно

$$\rho_v = \Lambda'(\rho^2 / b_1^2)^m = -p_v / c^2 \tag{11}$$

– эффективные плотность и давление вакуума; здесь

$$b_1^2 = b_0^2 / c^4 (1 + 3\gamma^2) = \rho_{\rm Pl}^2. \tag{12}$$

Из современных наблюдательных ограничений на величину космологического члена, $\Lambda \leqslant 10^{-56}$ см$^{-2}$, следует нижняя граница на показатель m:

$$\frac{8\pi\varkappa}{c} \Lambda' \left(\frac{\rho_0^2}{\rho_{\rm Pl}^2} \right)^m \leqslant 10^{-56} \text{см}^{-2}. \tag{13}$$

При $\rho_0 \approx \rho_{\rm crit} \approx 10^{-29}$ г/см^3 $m \geqslant 1/2$.

Уравнения Эйнштейна в метрике (4) имеют вид

$$\left(\frac{\dot a}{ca} \right)^2 + \frac{k}{a^2} = \frac{8\pi\varkappa}{3c^2} \left[\rho \left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_{\rm Pl}^2} \right)^n + \Lambda' \left(\frac{\rho^2}{\rho_{\rm Pl}^2} \right)^m \right], \tag{14}$$

$$\frac{2\ddot a}{c^2 a} + \left(\frac{\dot a}{ca} \right)^2 + \frac{k}{a^2} = -\frac{8\pi\varkappa}{c^2} \left[\gamma\rho \left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_{\rm Pl}^2} \right)^n - \Lambda' \left(\frac{\rho^2}{\rho_{\rm Pl}^2} \right)^m \right]. \tag{15}$$

Соотношения $K^{\nu}_{\mu,\nu} = 0$ теперь принимают форму

$$\frac{d}{dt}\left[a^3\rho\left(1-\frac{\rho^2}{\rho_{Pl}^2}\right)^n\right]+\gamma\rho\left(1-\frac{\rho^2}{\rho_{Pl}^2}\right)^n\frac{d}{dt}a^3+\Lambda' a^3\frac{d}{dt}\left(\frac{c^2}{\rho_{Pl}^2}\right)^m=0 \quad (16)$$

или с использованием (9)–(11)

$$d(\rho_m c^2 a^3)+p_m d(a^3)=-a^3 d(\rho_v c^2). \quad (17)$$

Так как рассматриваемые модели обладают симметрией по отношению к обращению времени (диссипативные процессы отсутствуют), то последнее соотношение можно записать в виде

$$T_m d(s_m a^3)=-a^3 d(\rho_v c^2), \quad (18)$$

где s_m – плотность энтропии материи. Температура T_m определяется обычным образом [1]:

$$\rho_m c^2=\alpha T_m^4\eta(T_m). \quad (19)$$

Согласно (18), энтропия сохраняется только в случае $\rho_v = \text{const}$. В рассматриваемых моделях [3, 6, 7] $\rho_m \leqslant \rho_{Pl}$ и $T_m \leqslant 5\cdot 10^{31}$ K, $\alpha \approx 7{,}5\cdot 10^{-15}$ эрг/см^3 (K)^4, $\eta(T_m)$ – число состояний, эффективно безмассовых при температуре T_m. По современным представлениям, при температурах, соответствующих планковской плотности, $T_m \approx 5\cdot 10^{31}$ K:

$$\eta(T_m) \sim 10^2 \quad (20)$$

и слабо зависит от температуры. Таким образом, из (18) и (19) следует закон изменения энтропии

$$d(s_m a^3)=-\left(\frac{\alpha\eta(T_m)}{\rho_m c^2}\right)^{1/4} a^3 d(\rho_v c^2). \quad (21)$$

С увеличением плотности вакуумной энергии ρ_v энтропия в сопутствующем объеме убывает.

Общий интеграл уравнения (16) имеет вид

$$a^{3(\gamma+1)}x(1-x^2)^n \exp\left\{2m\lambda\int_0^x \frac{x^{2m-2}}{(1-x^2)^n}dx\right\}=\text{const}, \quad (22)$$

где введены обозначения $\rho/b_1=\rho/\rho_{Pl}=x$ и $\Lambda'/\rho_{Pl}=\lambda$. В плоской модели ($k=0$ в выражениях (14) и (15)) нетрудно привести уравнения (14) и (15) к квадратуре:

$$\int dx\frac{(1-x^2)^n-2x^2(1-x^2)^{n-1}+2m\lambda x^{2m}}{x^{3/2}(1-x^2)^n[(1-x^2)^n+\lambda x^{2m-1}]^{1/2}}=-(1+\gamma)\sqrt{24\pi\varkappa\rho_{Pl}}(t-t_0), \quad (23)$$

которую можно решить численно для любых n, m и λ. Из (23) при $x \ll 1$ следует обычный фридмановский (для $k = 0$) закон изменения плотности со временем:

$$\rho = \rho_{Pl} x \sim t^{-2}. \quad (24)$$

Далее будут рассмотрены некоторые частные модели вселенной, заполненной излучением ($\gamma = 1/3$). При $n = m = 1$ соотношение (22) приобретает вид

$$\rho a^4 \,|\rho_{Pl}^2 - \rho^2|\, \left|\frac{\rho_{Pl} + \rho}{\rho_{Pl} - \rho}\right|^{\Lambda'/\rho_{Pl}} = B_1. \quad (25)$$

Аналогично при $n = 1$, $m = 3/2$ из (22) следует

$$\rho a^4 \,|\rho_{Pl}^2 - \rho^2|^{1 - 3\Lambda'/2\rho_{Pl}} = B_2. \quad (26)$$

В последнем случае при наложении дополнительного условия

$$\lambda = \Lambda'/\rho_{Pl} = 2/3 \quad (27)$$

решение уравнения (16) содержит также и обычный закон сохранения

$$\rho a^{3(\gamma+1)} = \text{const}. \quad (28)$$

Постоянные B_1 и B_2 в (25) и (26) соответственно можно определить, задавая значения плотности ρ и масштабного фактора в момент времени $t = t_*$, когда равны плотности реликтового излучения ρ_r и обычного вещества ρ_d [1]:

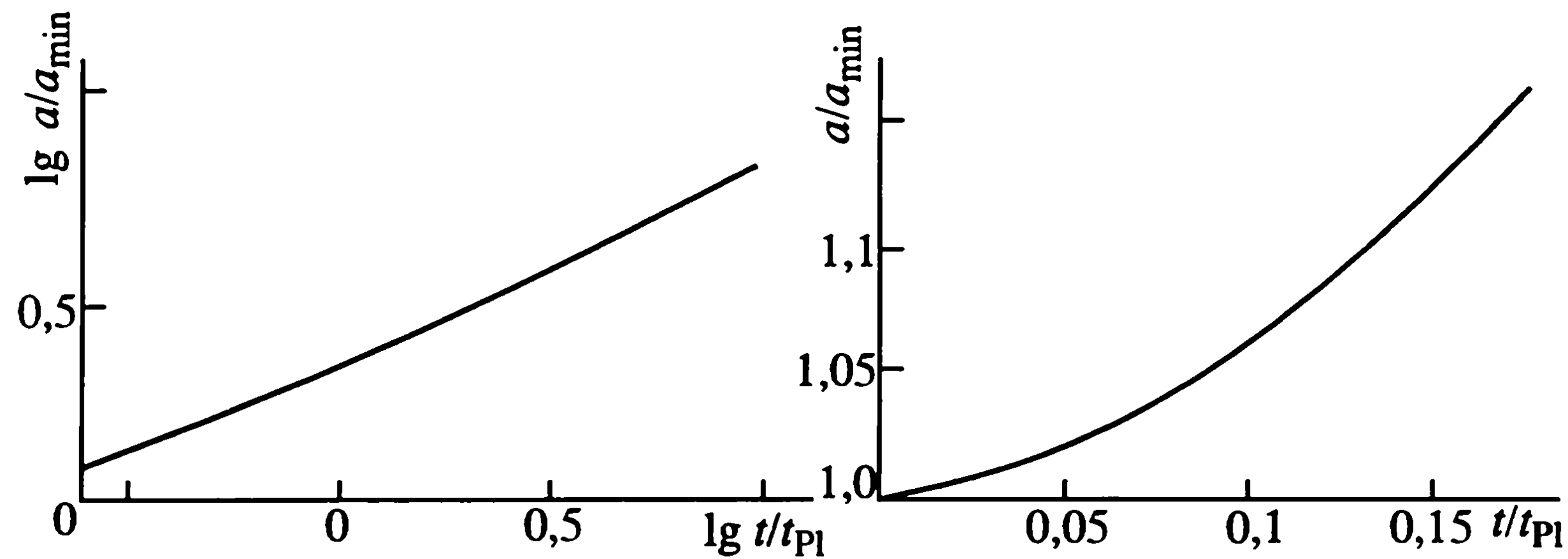
$$\rho_d(t_*) = \rho_r(t_*) = \rho_* \approx 10^{-12} \text{ г/см}^3, \quad a_* \approx 5 \cdot 10^{23} \text{см}. \quad (29)$$

Тогда с учетом $\rho_* \ll \rho_{Pl}$ получается $B_1 = \rho_* a_*^4 \rho_{Pl}^2 \approx 10^{270}$, $B_2 \approx \rho_* a_*^4 \rho_{Pl}^{2-3\lambda}$. Уравнения (14) и (26) при $\lambda = \Lambda'/\rho_{Pl} = 2/3$ преобразуются к виду

$$\dot{a}^2 = \frac{8\pi\varkappa}{3} B_2 \left(\frac{1}{a^2} - \frac{A}{a^{10}}\right) - kc^2, \quad (30)$$

где $B_2 = \rho_* a_*^4 \approx 3{,}2 \cdot 10^{82}$ г · см, $A = B_2^2 / 3\rho_{Pl}^2 \approx 1{,}3 \cdot 10^{-23}$ см^3. Соотношение (30) определяет два экстремума масштабного фактора для замкнутой вселенной ($k = 1$) a_{max} и a_{min}. Плотность при $a = a_{max}$ мала, модификация правой части уравнений Эйнштейна несущественна, и поведение модели описывается известными решениями Фридмана [1, 2]. Соответственно при определении a_{min} динамика полностью обусловлена модификацией тензора энергии-импульса; различие между плоской и замкнутой моделями несущественно, можно принять $k = 0$ (см., однако, ниже модель с $\lambda = 1$, которая приводит к разным решениям при $k = 0$ и $k \neq 0$). В результате получается

$$a_{min} \approx A^{1/3} \approx 10^{-3} \text{см}. \quad (31)$$



Для сравнения аналогичный анализ для пылевидного вещества ($\gamma = 0$) дает $a_{min} \approx$ $\approx 10^{-13}$ см.

Решение уравнения (30) дается квадратурой

$$t = \pm \int_{a_{min}}^{a(t)} \left[\frac{8\pi\varkappa}{3} \frac{B}{a^2} \left(1 - \frac{A}{a^3} \right) - kc^2 \right]^{-1/2} da \tag{32}$$

(положено $t = 0$ при $a = a_{min}$).

Можно видеть, что практически уже при $a \approx 3a_{min}$ слагаемым A/a^3 можно пренебречь, и решение становится фридмановским: $a \sim t^{1/2}$ (при $3a_{min} \leqslant a \ll a_{max}$, $k = 0$, $\gamma = 1/3$).

Интегрирование (32) дает

$$\left(\frac{8\pi\varkappa B_2}{3} \right)^{1/2} t = a_{min}^2 \left[\frac{1}{\sqrt{2}} F\left(\varphi, \frac{1}{\sqrt{2}} \right) - \sqrt{2} E\left(\varphi, \frac{1}{\sqrt{2}} \right) + \left(\frac{a_{min}}{a} \right)^2 \left(\frac{a^8}{a_{min}^8} - 1 \right)^{1/2} \right], \tag{33}$$

здесь $F(\varphi, q)$ и $E(\varphi, q)$ – эллиптические интегралы соответственно первого и второго родов, $\varphi = \arccos(a_{min}^2 / a^2)$. Результат численного интегрирования (32) представлен на рисунке.

Для случая $\lambda = \Lambda' / \rho_{Pl} = 1$, $n = 1$, $m = 3/2$, $\gamma = 1/3$ решение также можно записать в виде квадратуры. Система (14), (16) при этом эквивалентна следующим уравнениям:

$$\dot{a}^2 = \frac{8\pi\varkappa}{3} \rho a^2 - kc^2, \tag{34}$$

$$\rho a^4 (\rho_{Pl}^2 - \rho^2)^{-1/2} = B_3 \simeq 0{,}6 \cdot 10^{-11} \text{см}^4. \tag{35}$$

Последнее уравнение дает

$$\rho = \rho_{Pl} \left(1 + \frac{a^8}{B_3^2} \right)^{-1/2}, \tag{36}$$

т.е. при a, стремящемся к нулю, плотность асимптотически приближается к план-

ковской. Уравнение (34) после подстановки (36) и разделения переменных приводится к виду

$$\left(\frac{8\pi\varkappa\rho_{Pl}}{3}\right)^{1/2}(t-t_0)=\int\limits_{a_0}^{a(t)}da\left[\frac{B_3a^2}{\sqrt{B_3^2+a^8}}-\frac{3kc^2}{8\pi\varkappa\rho_{Pl}}\right]^{-1/2}. \tag{37}$$

На стадии, когда $a \gg B_3^{1/4} \approx 10^{-3}$ см, можно пренебречь членом B_3^2 по сравнению с a^8 и положить $k = 0$. При этом получается обычный фридмановский закон расширения $a \sim t^{1/2}$. Если $a \ll B_3^{1/4}$, то под тем же радикалом в знаменателе в (37) существенно только слагаемое B_3^2, и соответствующее решение (при $k = 0$) имеет де-ситтеровский вид с характерным временем расширения $\frac{1}{c}\sqrt{\frac{3}{8\pi\varkappa\rho_{Pl}}}=\frac{1}{c}\sqrt{\frac{3}{\Lambda}}$ порядка планковского:

$$a=\mathrm{const}\exp\left\{c\sqrt{\frac{\Lambda}{3}}t\right\}. \tag{38}$$

Для замкнутой вселенной ($k = 1$) в этой же асимптотике $\left(a \ll B_3^{1/4}\right)$ получается решение де Ситтера с положительной пространственной кривизной:

$$a=\sqrt{\frac{3}{\Lambda}}\,\mathrm{ch}\left(c\sqrt{\frac{\Lambda}{3}}t\right). \tag{39}$$

Масштабный фактор a в этой модели обладает регулярным минимумом при $t = 0$:

$$a_{\min}\approx\sqrt{\frac{3}{\Lambda}}\sim l_{Pl}. \tag{40}$$

Точное решение (37) описывает переходную стадию от де-ситтеровского расширения к фридмановскому.

Рассмотренная модификация уравнений Эйнштейна приводит к несингулярным космологическим моделям, осциллирующим в случае положительной пространственной кривизны между регулярными минимальным и максимальным размерами. Конечная скорость расширения в этих моделях на плотной стадии позволяет осуществить причинную связь между отдельными областями Вселенной; это позволяет в какой-то степени объяснить однородность Вселенной в больших масштабах, в отличие от моделей Фридмана.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975.
2. *Ландау Л.Д., Лившиц Е.М.* Теория поля. М.: Наука, 1973.
3. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 214.

4. *Петров Б.Н., Гольденблат И.И., Уланов Г.М., Ульянов С.В.* Проблемы управления релятивистскими и квантовыми динамическими системами. М.: Наука, 1982.

5. *Старобинский А.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 30. С. 719.

6. *Markov M.A.* // Phys. Lett. A. 1983. Vol. 94. P. 427.

7. *Markov M.A.* Problems of perpetually oscillating universe. Moscow, 1983. (Prepr. / INR; P-0286).

8. *Starobinsky A.A.* // Phys. Lett. B. 1980. Vol. 91. P. 99.

PROBLEMS OF A PERPETUALLY OSCILLATING UNIVERSE*

1. INTRODUCTION

The origin of the universe in the most difficult problem in cosmology. The model of a perpetually oscillating universe is specific in that the problem of universe origination is absent from it by definition.

The possibility of quantum origin of the universe "from nothing" is often discussed.

There exists one model which seems to favour the discussion of such a possibility. This is the model of a closed universe. In the closed model the total universe mass is equal to zero. But there the expansion phase must alternate with the contraction phase. Thus, the idea of the universe originating from nothing rather makes more significant the analysis of oscillating models.

2. DIFFICULTIES OF THE PERPETUALLY OSCILLATING MODEL

1. Difficulty common for all the versions of the theory of universes, namely, how to describe the nature of matter in the state of the universe near its classical singularity.

2. Difficulty due to entropy in the expansion and collapse phases of the universe [38].

This phenomenon can be illustrated by a simple example [38]: a diatomic gas capable of dissociating into elements is placed in a cylinder with heat-insulating walls and a mobile piston. By moving the piston up and down, one can alternate contraction and expansion. Under expansion dissociation develops, whereas under contraction an inverse process, namely, recombination, takes place. But if the piston moves at a finite velocity, the gas molecules cannot follow the piston in an equilibrium manner. The mean pressure under expansion appears to be less than is necessary in order that the reconstructive process accompanying contraction could bring the system back to the initial state. To do this, some additional work is needed which would increase the energy and entropy of the system. The role of the external force in an oscillating universe is played by a gravitational field.

* Ann. Phys. 1984. Vol. 155, N 2. P. 333–356.

The maximum radius of a closed universe is determined by its "proper" or "bare" mass M_0

$$R_{\max} = 2\frac{M_0 \varkappa}{c^2},$$

where $\varkappa$ is a gravitational constant and c is the velocity of light.

In each oscillation cycle the energy (i.e., the mass) of the universe increases, and in subsequent oscillations its maximum radius grows. Hence, we conclude that the universe once possessed some minimum radius. In other words, in this case the problem of the universe origin (the moment of its appearance with a minimum radius) remains unsolved.

It should be emphasized that this difficulty is connected not with an increase of the entropy itself but with the fact that the entropy increase in the nonstationary universe is followed by the universe mass growth.

If entropy increased in a system with a given mass (energy), this would only lead to a thermal death of the system. In this case we speak of the effects in the classical physics. Quantum effects add their own difficulties to the problems of a perpetually oscillating universe.

3. Indeed, in the nonstationary universe there must occur particle production in a gravitational field [3, 37]. Due to this particle production the universe mass increases from oscillation to oscillation. Thus, if the mechanism of entropy growth during universe oscillations were completely absent for some reason or other, then particle production in the oscillating universe would lead to an amplitude oscillation similar in nature to the entropy increase. In both cases this difficulty is due to one and the same process – conversion of gravitational energy into the mass of the universe. These are not all the difficulties caused by gravitational energy.

4. Indeed, under the universe collapse different perturbations develop [6]: perturbation of matter density, of matter particle velocities, and, finally, of the metric, i.e., the appearance of gravitational waves. It turns out that even if perturbations connected with substance, more precisely, with different forms of matter, are disregarded, an unlimited metric perturbation increase (a catastrophic increase of gravitational energy density) requires a model of the universe also free from the difficulty of purely gravitational singularity.

The difficulties under discussion take place, of course, only if in the state of maximum universe contraction nothing "unusual" happens to the matter, entropy, and gravitational energy. We can even formulate this requirement of "unusual" in the state of the universe under conditions of maximum contraction.

For the maximum radius of the universe not to increase from oscillation to oscillation it is sufficient that the universe go out of the state of maximum contraction at least on the average with one and the same mass M_0.

Is such a model possible where the universe in the state of maximum contraction would play a peculiar role of "purgatory", purifying the universe from "excessive" mass and entropy acquired in a previous expansion and contraction? In this state the universe would also be free from singularity. There is reason to suppose that in the state of maximum contraction the universe must be in the state of de Sitter's microuniverse.

Below we try to construct a model of transformation of a Friedmann universe in the collapse process into a de Sitter universe with the properties of "purgatory".

3. NEW ASPECTS IN THE UNDERSTANDING OF THE PROBLEMS OF THE INITIAL HISTORY OF THE UNIVERSE

Lately, essentially new concepts have appeared that change radically the classical picture of a very early universe.

1. Old assumptions concerning a possible determining role of quantum effects in the early universe have been convincingly confirmed in several studies [8, 11, 37].

2. It has become possible to believe that the initial state of the universe ($t = 0$) is that of a de Sitter universe [8, 11, 37] of Planck's dimensions. In such a universe the energy dominance principle is violated and, thus, the universe is not singular at the initial moment. Moreover, a de Sitter universe is unstable – in some sense it is similar to the state of an overheated liquid. In this state there appears a possibility of a rapid matter production and transformation of a de Sitter universe, say, to a Friedmann universe.

3. The ideas arose that at extremely small distances gravitational interactions are asymptotically free [19].

4. If earlier the question about the state of matter at the first moments of the universe history had to answer, now there is reason to believe that matter is produced in the form of maximum heavy elementary particles [37] ("maximons"), and that at the initial moment the universe can even be cold and only a rapid transformation of maximons into usual matter leads to the Big Band and to a hot universe.

5. Isotropy and homogeneity of our universe on large scales requires realization of causal relation in a very early universe. This is the so-called horizon problem [21, 36], the solution of which imposes essential requirements on the model of a very early universe. The understanding of the importance of solving the horizon problem has lately become deeper.

In what follows the model of a perpetually oscillating universe is built on the basis of the above-mentioned concepts.

4. QUANTUM EFFECTS IN A GRAVITATIONAL FIELD

From several recent papers it has become clear that at an early stage of evolution of homogeneous and isotropic models of universes the components of the vacuum expectation values of the energy-momentum tensor of quantum fields are not small as compared with corresponding components of the energy-momentum tensor of the substance that prescribes the classical background metric [2, 3, 18, 37]. The Einstein equations satisfied by self-consistent gravitational fields are now written in the form

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = \frac{8\pi\varkappa}{c^4}\left(T_{\mu\nu} + \left\langle \theta_{\mu\nu} \right\rangle_{\text{ren}}\right), \tag{1}$$

where $T_{\mu\nu}$ is the matter tensor determining the background metric, which is usually taken in the isotropic and homogeneous form. The $\left\langle \theta_{\mu\nu} \right\rangle_{\text{ren}}$ term stands for vacuum expectation values of the matter tensor operator of conformally covariant massless fields with different spin values.

The expressions for $\langle\theta_{\mu\nu}\rangle$ contain infinitenesses. In the indicated papers their regularized expression obtained by different methods is used.

An explicit form of the expression $\langle\theta_{\mu\nu}\rangle_{\text{rcn}}$ is such that it can be obtained by varying the Lagrangian of the classical (but not quantized) gravitational field written, for example, in the form

$$L = \Lambda + \frac{1}{2\varkappa}\left(R + BR^2 + CR_{\mu\nu}R^{\mu\nu}\right). \tag{2}$$

Now instead of the term $\langle\theta_{\mu\nu}\rangle_{\text{rcn}}$ the left-hand side of Einstein eq. (1) contains terms (quadratic in R) of the form $R^2 g_{\mu\nu}$, $RR_{\mu\nu}$, $R_{lm}R^{lm}\, g_{\mu\nu}$, $R^l_\mu R_{l\nu}$ and higher derivatives of R of the form [8, 11, 37].

$$\nabla_\mu \nabla_\nu R; \quad g_{\mu\nu}\nabla_l \nabla^l R. \tag{3}$$

The value of the constants B and C is connected with the existence in the nature of different kinds of elementary particles. It seems, however, somewhat risky to suppose that the available experimental data on elementary particles are exhaustive and that in future we are not going to be given great surprises. Besides, now the Einstein equations are not already second-order equations, in other words, we have to reject the fundamental principle used by Einstein in deriving his equations.

The main positive result of these studies, though, as has already been emphasized above, is in reasoning the old assumptions concerning the fundamental importance of quantum effects in a very early universe. These studies reconciled theorists with a possible existence of states with violated energy dominance. Moreover, these studies originated the idea, which has now become very popular, that an extremely early universe is likely to be in the de Sitter phase. To say it differently, it has become clear that the problem of universe singularity can be naturally solved within quantum theory.

It is always emphasized, however, that the solutions of eq. (1) are valid in the socalled one-loop approximation, i.e., when the conditions

$$R_{\mu\nu\lambda\delta}\, R^{\mu\nu\lambda\delta} < 1\Big/ l_{\text{Pl}}^4; \quad l_{\text{Pl}} = \left(\frac{\hbar\varkappa}{c^3}\right)^{1/2} \tag{4}$$

are fulfilled [2, 3, 18, 37].

The question arises whether the condition (4) is not an essential defect of the theory. It seems that the role of quantum correction must increase at large curvatures.

On the other hand, if higher quantum corrections can be disregarded, this naturally suggests the idea that in nature there may exist some limitation on the curvature value, that the expression (4) is not the condition of applicability of the one-loop approximation, but the expression describing a law of nature [10, 32, 33]. The principle of limitation of physical quantities plays a fundamental role in nature and leads to a corresponding specific formalism of the theory corresponding to a given limitation. So, the fact that the velocity of signal v can-

not exceed the velocity of light, that always $v \leq c$, has led to a corresponding mathematical apparatus of the theory – the theory of relativity. Similarly, the limitation of the action S, assuming that the action cannot be less that half of the Planck constant $S > \hbar/2$, has led to the appearance of formalism of quantum theory. It is of interest to consider the condition (4) as a law of nature [10, 32, 33] and to investigate the phenomenological form of the formalism in which this limitation is intrinsic. The discussion of just this possibility plays a significant role in the search for a perpetually oscillating model considered below.

From many points of view our real universe and its history, except for very early epochs, are not poorly described by a homogeneous and isotropic Friedmann universe. But this model is absolutely inapplicable for describing the initial universe history. And what is more, an elementary analysis of these defects of the Friedmann universe is very instructive and capable of indicating the character of variations desirable for modification of this model. The latter statement has to be explained.

5. ASYMPTOTICAL FREEDOM AND PARTICLE PRODUCTION ESSENTIALLY MODIFY THE EARLY FRIEDMANN UNIVERSE [32]

A simplified picture of the classical ("Newtonian") Friedmann universe filled with dust-like matter is known to develop according to the law [4, 41]

$$R = \left(9/2 \cdot M_0 \varkappa\right)^{1/3} t^{2/3}, \tag{5}$$

where M_0 is the total mass of the universe, the dust particle mass, $\varkappa$ is the gravitational interaction constant, and t is the time counted from $t = 0$. The right-hand side of eq. (5) determines the dimensions of the universe at the moment t.

Attention is attracted by the fact that at the initial moment the universe starts expanding at an infinitely high velocity. The time derivative of R

$$\dot{R} = \frac{2}{3} \frac{\left(9/2 \cdot M_0 \varkappa\right)^{1/3}}{t^{1/3}} \tag{6}$$

at $t \to 0$, $\dot{R} \to \infty$.

Another essential feature of the Friedmann universe expansion is that the expansion rate decreases with time.

Thus, in an expanding universe the acceleration R is negative

$$\ddot{R} = -2/9\left(9/2 \cdot M_0 \varkappa\right)^{1/3} t^{-4/3} \tag{7}$$

or else

$$\ddot{R} = -4/3 \cdot \pi \rho R; \quad \rho = M_0 \big/ \left(4/3 \cdot \pi R^3\right). \tag{8}$$

In a Friedmann universe characterized not only by density but also by pressure P

$$\ddot{R} = -4/3 \cdot \pi(\rho + P) R. \tag{9}$$

Thus, a Friedmann universe needs the initial "kick", whose source is not described by the Friedmann model, but (it seems) which must be a necessary moment in a consistent model of the universe [4, 41]. Moreover, it was noted long ago that such a picture of the initial universe expansion leads to some difficulty even of "experimental" character; we mean the above-mentioned horizon problem.

The question arises what causal mechanisms provides homogeneity of the universe at the initial moments of its history if the expansion velocities are such that they exclude causal relations among separate regions of the universe.

The horizon problem would be formally solved if the time dependence of the early universe expansion law could be changed, i.e., if, for example, at small times we would have $R \sim t^n$, where $n > 1$.

Then the universe expansion velocity $\dot{R} \sim t^{n-1}$ at $t = 0$ would be equal to zero but not to infinity. Such a possibility could be realized, e.g., in the case when the universe mass M_0 in the law (5) would not occur instantly, but, say, only increase up to M_0 during a Planck time $t \sim \left(\hbar\varkappa/c^5\right)^{1/2} \sim 10^{-44}$ sec. The assumption that the total mass M_0 of the universe does not arise instantly seems to be very acceptable from the physical point of view.

The indicated change of the expansion law of very early universe also admits, in principle, another interpretation assuming, e.g., a corresponding time dependence of the gravitational constant $\varkappa$ under conditions of the very early universe. The second assumption implies, in effect, that at small distances between gravitational objects (i.e., at high matter density) there is realized the so-called "asymptotical freedom" of gravitational interactions. In other words, as the distance between particles decreases the gravitational interaction constant becomes zero or acquires a very small finite value.

The changes of the time-dependent behaviour of the very early universe lie in the framework of the new concepts concerning the nature of the initial history of the universe discussed already in Section 3.

V.P. Frolov and G.A. Vilkovisky [20] consider the collapse problem taking into account quantum corrections in a certain one-loop approximation. They show that asymptotical freedom is indeed realized in this case: at small distances the gravitational interaction potential tends to a finite value $\varphi_{R\to 0} \to \varkappa M/l_{\rm Pl}$.

If we assume that during the time $0 < t < t_{\rm Pl}$ this interaction law is valid, then from the equation $1/2\,\dot{R}^2 = \varkappa M/l_{\rm Pl}$ it follows that

$$R = (2\varkappa M)^{1/2}\left(\frac{t}{t_{\rm Pl}}\right)^{1/2} t^{1/2}.$$

The change in the time-dependent behaviour of very early universe (replacement of the factor 2/3 by $n = 1$) seems to be small, but it affects radically the character of the initial universe. Indeed, if the universe expansion law is written in the form, e.g.,

$$R = \left(9/2 \cdot M_0\varkappa\right)^{1/3}\left(\frac{t}{t_{\rm Pl}}\right)^{n/3} t^{2/3}, \quad n > 1, \tag{10}$$

which at $t > t_{Pl}$ takes the form (5), the acceleration $\ddot{R}$ at $t < t_{Pl}$ has the sign inverse to the Friedmann case (8). This testifies to the fact that in this case $\rho + P < 0$, i.e., the energy dominance principle is violated, which is typical of the de Sitter universe[1].

The above considerations suggest the idea that one can try to express in a phenomenological model of the universe the recently appeared understanding of nature and the problems of its very early history. In the next section we give an example of such an attempt in the framework of a closed version of a homogeneous and isotropic world.

6. PERPETUALLY OSCILLATING UNIVERSE, ASYMPTOTICAL FREEDOM, ENTROPY, APPEARANCE, AND DISAPPEARANCE OF MATTER

In the papers [28, 32–34] the question was asked whether such a version of a perpetually oscillating homogeneous and isotropic universe is possible where in the collapse process the region near the classical singularity is in the de Sitter state. The hypothesis was put forward that an essential role in such a model must be played by asymptotical freedom of gravitational interactions. More specifically, it was assumed that in the right-hand side of the Einstein equation

$$G_\mu^\nu = \varkappa \frac{8\pi T_\mu^\nu}{c^4} + \Lambda \delta_\mu^\nu \tag{11}$$

as the universe approaches Planck's dimensions, the gravitational constant tends to zero, the term with the matter tensor disappears from the equation, and the universe, say, a Friedmann one, transforms into a de Sitter universe with the Λ-terms, where

$$\Lambda \sim \frac{1}{l_{Pl}^2}; \quad l_{Pl} = \left(\frac{\hbar\varkappa}{c^3}\right)^{1/2}. \tag{12}$$

On the basis of the idea of asymtotical freedom of gravitational interactions we have lately succeeded in constructing a "working" model of a dust-filled universe [29, 33].

The model assumes that the condition of applicability of the one-loop approximation is a rigorous law of nature, an expression of asymptotical freedom of gravitational interactions. To say it differently, the gravitational constant is assumed to be in fact an expression of the type

$$\varkappa = \varkappa_0 \left(1 - R_{\mu\nu\lambda\delta} R^{\mu\nu\lambda\delta}\right); \quad R_{\mu\nu\lambda\delta} R^{\mu\nu\lambda\delta} \leqslant 1/l_{Pl}^4. \tag{13}$$

In what follows we consider the model of a dust-filled universe. In that case (4), (13) are rewritten as

$$\varkappa = \varkappa_0 \left(1 - \rho^2/\rho_{Pl}^2\right), \tag{14}$$

[1] This property is also contained in a steady-state universe. The model of the initial stage of the universe in the form of a Hoyle–Narlicar universe is also worth considering.

where

$$\rho_{Pl} = \frac{c^5}{\hbar \varkappa_0^2} \sim 10^{94}\,\text{gr/cm}^3 \tag{15}$$

plays the role of a limiting matter density.

The modified Einstein equations is now written in the form

$$R_\mu^\nu - \frac{1}{2} R\delta_\mu^\nu = \frac{8\pi\varkappa_0}{c^2}\left[\rho\delta_0^\nu\delta_\mu^0\left(1-\frac{\rho^2}{\rho_{Pl}^2}\right)^n + \Lambda'\left(\frac{\rho}{\rho_{Pl}}\right)^{2m}\right], \tag{16}$$

where $T_\mu^\nu = \rho\delta_0^\nu\delta_\mu^0 c^2$, $\Lambda' = \left(c^2/8\pi\varkappa_0\right)\Lambda$ has the dimension of density.

From (16) it follows that in the collapse process, when the density ρ becomes equal to ρ_{Pl}, the ratio ρ/ρ_{Pl} becomes equal to unity, eq. (16) describes the de Sitter universe.

In case $\rho \ll \rho_{Pl}$, the Λ-shaped term can be neglected, and the equation describes, say, the Friedmann universe.

From the right-hand side of eq. (16) there follows an essentially quantum character of modification of the classical Einstein equation: at $\hbar \to 0$; eq. (16) is the classical Einstein equation.

The exponents m and n in eq. (16) express some generality which, as is clear from what follows, is far from being arbitrary.

Generally speaking, we could write the right-hand side of eq. (16) in the general form

$$G_\mu^\nu = \frac{8\pi\varkappa_0}{c^2}\left[T_\mu^\nu\phi\left(\frac{\rho^2}{\rho_{Pl}^2}\right) + \Lambda'\theta\left(\frac{\rho^2}{\rho_{Pl}^2}\right)\right] = K_\mu^\nu, \tag{17}$$

by imposing on the functions the conditions $\phi_{\rho=\rho_{Pl}} = 0$ and $\theta_{\rho=\rho_{Pl}} = 1$.

Since the covariant derivative of the left-hand side of the Einstein equation vanishes

$$G_{\mu;\nu}^\nu = 0$$

the covariant derivative of the right-hand side of eq. (17) must vanish too

$$K_{\mu;\nu}^\nu = 0. \tag{18}$$

In an unfolded form the condition (18) looks like

$$T_{\mu;\nu}^\nu + T_\mu^\nu\,\phi_{;\nu} + \Lambda'\theta_{,\nu} = 0. \tag{19}$$

In the case of a homogeneous and isotropic closed Friedmann universe filled with dust with a pressure $P = 0$, an analogue of the Einstein equation

$$G_0^0 = \frac{8\pi\varkappa_0}{c^4} T_0^0 = \frac{8\pi\varkappa_0\rho}{c^2}$$

at $n = m = 1$ is the equation

$$\left(\frac{\dot{a}}{c}\right)^2 + 1 = \frac{8\pi\varkappa_0}{3c^2} a^2 \left[\rho\left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_{Pl}^2}\right) + \Lambda' \frac{\rho^2}{\rho_{Pl}^2}\right], \tag{20}$$

where $a = a(t)$ is the scale factor and $\dot{a}$ is derivative with respect to time t.

As follows from (19), in the model under consideration the conservation law for T_μ^ν is absent, i.e.,

$$T_{\mu;\nu}^{\nu} \neq 0. \tag{21}$$

But a peculiar conservation law $K_{\mu,\nu}^{\nu} = 0$ can be said to describe the matter transformation $\left(T_\mu^\nu\right)$ into a vacuum-like matter of the $\Lambda'\theta$-term.

For our concrete model the condition $K_{\mu;\nu}^{\nu} = 0$ after corresponding calculations takes the form

$$\rho\left|\rho_{Pl}^2 - \rho^2\right|\left|\frac{\rho_{Pl} + \rho}{\rho_{Pl} - \rho}\right|^{\Lambda'/\rho_{Pl}} = \frac{B}{a^3}, \tag{22}$$

where B is the integration constant.

At small ρ the density must be given by

$$\rho \sim M_0/a^3, \tag{23}$$

where M_0 is the total mass of the closed universe and a^3 is its volume. Accordingly,

$$B = M_0\rho_{Pl}^2. \tag{24}$$

Consider the model in the case $\Lambda'/\rho_{Pl} = 2$. Then eq. (22) can be rewritten as

$$\rho\frac{(\rho_{Pl} + \rho)^3}{|\rho_{Pl} - \rho|} = \frac{M_0\rho_{Pl}^2}{a^3}. \tag{25}$$

At the moments when the universe expansion and collapse stop, $\dot{a} = 0$. And at this moment

$$1 = \frac{8\pi\varkappa_0}{3c^2} a^2 \left(\rho - \frac{\rho^3}{\rho_{Pl}^2} + 2\rho_{Pl}\frac{\rho^2}{\rho_{Pl}^2}\right). \tag{26}$$

Eqs. (25) and (26) give two values for the radius of a closed universe. One value at $\rho \ll \rho_{Pl}$ gives a maximum radius of the universe at the moment when it stops expanding and starts contracting. Indeed, in the case $\rho \ll \rho_{Pl}$ eqs. (25) and (26) give for a_{max}, as expected,

$$a_{max} \sim \frac{M_0\varkappa_0}{c^2}. \tag{27}$$

For ρ close to ρ_{Pl} eq. (26) gives for a_{min} the relation

$$a_{min}^2 \sim \frac{c^2}{8\Lambda'\varkappa_0} \sim \frac{1}{\Lambda} \sim l_{Pl}^2. \tag{28}$$

If ρ is close to ρ_{Pl}, the relation (25) can be rewritten as

$$\frac{8\rho\rho_{Pl}}{|\rho_{Pl} - \rho|} = \frac{M_0}{a_{min}^3}. \tag{29}$$

On the basis of (28)

$$a_{min}^3 \sim l_{Pl}^3. \tag{30}$$

On the basis of (29) and (30) at the moment of cessation of the contracting

$$\rho_{max} \sim \frac{\rho_{Pl} M_0}{\rho_{Pl} l_{Pl}^3 + M^0} = \frac{\rho_{Pl} M_0}{m_{Pl} + M^0}; \quad m_{Pl} \sim \left(\frac{\hbar c}{\varkappa_0}\right)^{1/2} \sim 10^{-5} \text{ gr}. \tag{31}$$

If the mass of a closed universe is not less than the total mass of our Universe $M_0 \sim 10^{55}$ gr, the maximum density differs from the Planck one by a vanishingly small quantity

$$\rho_{max} = \rho_{Pl}\left(1 - 10^{-60}\right). \tag{32}$$

The larger the universe mass M_0, the smaller this difference. The universe mass variation in the collapse process is given by the formula

$$M = M_0\left(\frac{\rho_{Pl} - \rho}{\rho_{Pl} + \rho}\right). \tag{33}$$

In other words, in the final stage of the collapse practically all the universe mass disappears in the vacuum "grave" carrying away the entropy and mass accumulated in the expansion phase.

We have repeatedly stressed here that the difficulties of a perpetually oscillating universe are exclusively in its bare mass increase. This mass increase has different reasons: particle production in the gravitational field of the universe, including particles from relic gravitational waves. If the energy density of relic gravitational waves is now estimated as $c^2 \cdot 10^{-36}$ gr/cm^3, the energy density of gravitational waves approaches the Planck one when in the collapse process the universe reaches the dimension $a \sim 10^{-15}$ cm. The entropy increase in a perpetually oscillating universe is a difficulty not itself but because it is followed by the universe mass increase.

The latter considerations explain the fact that in constructing our model, in the formalism describing the model there are no denotations showing the presence of entropy[2]. Only the numerical value of the universe bare mass M_0 contains summands of all the additional

---

[2] The entropy problem is discussed in an explicit form in Section 8.

masses that appear during development of a nonstationary universe, including those resulting from entropy growth.

But from the thermodynamical point of view, we deal, however, with violation of the second law of thermodynamics under extremal conditions of transformation of a Friedmann universe into a de Sitter one.

In thermodynamical terms the entropy decrease in the final collapse stage, when a Friedmann universe transforms into a de Sitter one, is described as follows. The classical law of thermodynamics,

$$TdS = dE + Pdv\ ,$$

where T is temperature, S entropy, E total energy, P pressure, v volume element, changes radically in the final stage of the collapse.

Indeed, owing to the increase of the $\Lambda'\theta$-term, the pressure P becomes negative and increases in the absolute value. In the known cases in physics, when pressure acquires a negative value, an increase of the total energy forbids entropy decrease. In the model under discussion the appearance of a negative pressure (growth of the $\Lambda'\theta$-term) is also followed by an energy decrease in the universe $\left(T_{\mu}^{\nu}\phi \to 0\right)$.

Of course, the role and the place of the second law of thermodynamics among the general principles of nature are such that encroachment upon an absolute universality of this law requires very serious arguments. In this connection we cannot but recollect the well-known warning of Eddington[3].

But on the other hand, in Eddington's time there was no such concept as vacuum-like energy state, and the possibility of transformation of a universe filled with matter with its entropy into a de Sitter universe which has no usual matter, i.e., violation of the usual energy conservation law $\left(T_{\mu;\nu}^{\nu} = 0\right)$, was not discussed.

In connection with Eddington's warning concerning the future of science, it would not be out of place to recall the warning once made by N. Wiener: "The greatest error of predictions is a too narrow projecting into future of today's possibilities of science". Below we also discuss a certain version of microscopical interpretation of the possibility to decrease entropy in the final stage of the universe collapse (Section 8). In Section 10, "Formation of Daughter Universes", we discuss within the same model the possibility of an oscillating universe without violation of the second law of thermodynamics.

7. REPETITION OF OSCILLATION CYCLES

The second, or more precisely, each new, subsequent cycle of universe oscillation is determined, again, by the initial conditions at the moment immediately after the collapse cessation. More specifically, it is determined by the density, by the value of ρ_{max} at the moment of a bounce. A characteristic feature of the model is an extremely strong

[3] "If someone points out to you that your pet theory of the universe is in disagreement with Maxwell's equations – then so much the worth for Maxwell's equations. If it is found to be contradicted by observation – well, these experiments do bungle things sometimes. But if your theory is found to be against the second law of thermodynamics I can give you no hope, there is nothing for it but to collapse in deepest humiliation" [15].

dependence of the total universe mass at the end of the new cycle on density at the moment of bounce (31).

Therefore, it is very important to discuss in more detail the formation of the initial state in the appearance of a new, subsequent oscillation cycle.

The question arises what happens in our model immediately after collapse cessation in the state of maximum contraction. In this state the model is mostly a de Sitter universe of Planck dimensions, but it has some memory about the Friedmann universe in the form of a small value of the energy tensor

$$\frac{\tau_0^0}{c^2} = \rho_{max}\left(1 - \frac{\rho_{max}^2}{\rho_{Pl}^2}\right). \tag{34}$$

In an instant resting state a closed universe in the final stage of collapse is some analogue of the static Einstein universe with a large Λ-term. In this state the universe is unstable and has only one possibility – to expand after collapse cessation. In other words, the necessity of oscillation cycle repetition is inherent in the model.

If, however, we do not leave the classical theory with its characteristic determinism, the inverse process seems to reconstruct exactly the previous history, more precisely, the same mass M_0 of the initial Friedmann universe. True, if in the process of matter production in a post de Sitter stage the previous mass M_0 arises in the form of maximon gas at a pressure $P = 0$, the entropy of the new initial stage of the universe may turn out equal to zero. But this circumstance does not at all facilitate the difficulties of a perpetually oscillating universe since in this case the mass M_0 will all the same increase in subsequent oscillations.

But at the end of the universe collapse, when the universe approaches the Planck dimensions, the classical interpretation of the process is already invalid.

As has been mentioned above, in the final stage of collapse the memory about a previous universe consists in a negligibly small difference of the maximum density (31) from the Planck one. Accordingly, the main question here is in what form the initial conditions of the new phase of universe expansion appear, and what role can be played by inevitable density fluctuations. Quantum effects affect essentially the dimensions of a micro-universe inducing matter density fluctuation too.

J.A. Wheeler estimated the change in the radius (R) of our universe induced by quantum fluctuations.

This change is given by the formula [40]

$$R = R_0\left(1 + l_{Pl}^{4/3}/24\,\pi^2 R_0\right)^{2/3}. \tag{35}$$

For our universe ΔR proves to be very small,

$\Delta R \sim 10^{-55}$ cm.

But in the denominator of formula (35) there is a very large quantity – the universe radius $R_0 \sim 10^{28}$ cm.

From these formulae it is clear that in a universe of Planck dimensions ($\Delta R \sim 10^{-33}$ cm) the mean value of its radius differs from the classical one by a factor of the order of its classical dimensions. Such estimates are obtained by quantization of a small $\left(R_0 \sim l_{Pl}\right)$ closed

Friedmann world by the Wheeler–DeWitt method, i.e., by the choice for the coordinate operator of the universe dimensions [26]. The estimate lead to $\Delta R_0 \sim 0,4\, l_{Pl}$.

For a subsequent universe expansion it is of importance from what concrete state (of the density ρ_{max} or dimensions a_{min}) this expansion starts after collapse cessation[4]. As follows from what has been said, for the universe the mass $M_0 \sim 10^{55}$ gr plays the role of inaccuracy (fluctuation) in the density $\Delta\rho \sim 10^{-60}\rho_{Pl}$. It is just accuracy of the value of ρ_{max} that implicates the "memory" about the total mass M_0 which the universe has at the Friedmann phase. It seems very natural that this memory can be washed by quantum fluctuation of densities ρ_{max} at the moment of collapse cessation. The role of these fluctuations in the formation of the initial condition of the new phase of universe expansion must increase with M_0.

To say it differently, there is reason to suppose that in this model the universe in subsequent expansions will not, as a rule, reestablish the mass which existed in the previous, Friedmann phase. It is not excluded that in subsequent oscillations universes of relatively small masses will most often appear if the masses M_0 were very large.

According to the relation (31), the total mass of the universe is expressed by the formula

$$M_0 =\sim m_{Pl} \frac{\rho_{max}}{\rho_{Pl} - \rho_{max}}. \tag{36}$$

If, for example, the density ρ_{max} at the moment[5] of bounce turns out equal to $1/2\rho_{Pl}$ owing to fluctuations, then at the moment of maximum expansion the appearing universe will have the mass

$$M_0 \sim m_{Pl}.$$

8. THE STATE OF MATTER IN THE PHASE OF FRIEDMANN UNIVERSE CREATION AND IN THE FINAL STAGE OF COLLAPSE

Maximons

The model of a dust-filled universe is of course far from our real Universe. True, in Section 3 we have discussed a not accidentally appearing idea that at the initial moments of the universe history matter is produced in the form of maximum heavy particles, say, "maximons", and that the usual matter arises only as a result of their subsequent decay.

In the framework of a perpetually oscillating universe the idea is natural (but not obligatory) that matter disappears in the final stage of collapse also in the form of maximum heavy elementary particles into which, at high density of the final phase of collapse, all various forms of matter, including gravitational waves, are transformed.

---

[4] Our *first* task is to forecast the amplitude of the *next* oscillations of our universe but not to forecast *a mean amplitude* of its future many oscillations.

[5] The indicated density ρ_{max} fluctuation are substantial not only at the moment of bounce but also during tens of Planck times before that moment.

If we assume that a necessary condition of the elementary particle concept is that the Compton length $\hbar/mc$ exceed the value of the gravitational radius [29]

$$\frac{\hbar}{mc} > \frac{m\varkappa_0}{c^2},$$

the mass of a "maximon", i.e., of an elementary particle of maximum mass, is estimated from the equality $\hbar/mc = m\varkappa_0/c^2$, i.e.,

$$m_{\max} = \left(\frac{\hbar c}{\varkappa_0}\right)^{1/2} \sim 10^{-5} \text{ gr}.$$

In ref. [37] particles of maximum masses produced at the beginning of the Friedmann phase are called scalarons. The scalaron mass, according to [37], is somewhat smaller than the Planck mass.

It is not excluded that maximon, i.e., a particle which ends the elementary particle spectrum, will be a particle of mass slightly different from the Planck mass.

In the treatment suggested, the maximon matter becomes in some sense the "original matter". In this form matter appears after the de Sitter phase. This is just matter which, when decaying, creates all other forms of matter.

If the initial state of matter is a cold maximon gas, then the model considered above as illustration of a certain conception becomes closer to a possible real universe. If we accept this idea of a scalar maximon original matter as a hypothesis to be considered in more detail, the density of the dust-like matter in the model (16) should be replaced by the energy density of a scalar maximons field which obeys some nonlinear equation[6]. The analogy with the model becomes still closer if we assume that the initial universe is cold, that the scalar field φ depends only on time, the same as the density ρ in the dust-like model (16).

Maximons and Elementary Black Holes

When decaying, a black hole inevitably reaches in the end the Planck mass $m = (\hbar c/\varkappa_0)^{1/2} \sim 10^{-5}$ gr. We refer to such a black hole as an elementary black hole (EBH).

On the other hand, if the original matter consists only of one massive scalar field, the quantum mass of this field could have the same limiting value $m_{\max} = (\hbar c/\varkappa_0)^{1/2}$.

---

[6] We mean a Lagrangian, e.g., of the form

$$L = (-g)^{1/2}\left\{\left[g^{\alpha\beta}\frac{\partial\varphi^*}{\partial x_\alpha}\frac{\partial\varphi}{\partial x_\beta} - \left(m_{\max}^2 + \frac{R}{6}\right)\varphi^*\varphi\right]\left(1 - \frac{m_{\max}^2\varphi^*\varphi}{6}\right) + \Lambda m_{\max}^4\frac{(\varphi^*\varphi)^2}{b^2}\right\}, \quad (37)$$

$b \sim \rho_{Pl}$, which leads to the appearance in the field equations of terms of the form φ^3, which can be responsible for a spontaneous gauge symmetry breaking, and to an effective particle production and annihilation. This term has a quantum nature – it vanishes at $\hbar \to 0$.

In this case the Compton lengths $\hbar/(m_{\max}c)$ and $\hbar/(m_{\text{EBH}}c)$ are equal.

The question arises whether or not a maximon should necessarily be an elementary black hole in this case. It is interesting that the answer is nontrivial.

The point is that Papapetrou once mentioned the possibility of the existence within the classical physics of such electrically charged objects whose electric repulsion forces are balanced by gravitational attraction forces [35]

$$\frac{e^2}{r} = \varkappa_0 \frac{M^2}{r} \text{ hence } M = \frac{e}{\varkappa_0^{1/2}} \sim 10^{-6} \text{ gr.}$$

This object can be called a classical maximon [9]. The structure of this object is considered in detail in ref. [12]. The whole mass of this object is located outside its Schwarzschild sphere, but may be very close to it. But, on the other hand, a charged black mini-hole with the same mass of Papapetrou's particle may exist in the classical physics. In this case the particle mass is localized in a substantial part under the Schwarzschild sphere with radius $r \sim 10^{-34}$ cm.

In quantum theory the Heisenberg relation forbids localization of such masses in such classical dimensions. These mini-objects in quantum physics must have dimensions $l \sim \left(\hbar\varkappa_0/c^3\right)^{1/2} \sim 10^{-33}$ cm and masses $m \sim \left(\hbar c/\varkappa_0\right)^{1/2} \sim 10^{-5}$ gr.

In these mini-objects gravitational attraction is balanced by quantum zero energy (analogue of the hydrogen atomic ground state). The Coulomb repulsion in these systems can be neglected. According to what has been said, it is possible that there exist two quantum electrically neutral maximons of equal masses and dimensions – this is an elementary black hole and a Papapetrou particle.

In this case a situation is possible when an elementary black hole does not disappear when decaying, but transforms into a Papapetrou particle, which again has a possibility to become an elementary black hole. In other words, the mini-objects under discussion could appear to be one object oscillating between the two states.

One can also hope that in the near future an insight into the structure of an elementary black hole will be provided by more detailed studies of this object at least in the framework of the one-loop approximation[7]. The point is that as a black hole decreases, the gravitational field around it locally increases. Vacuum polarization around a black hole increases. In view of what has been said, it is of interest to estimate the part of the elementary black hole mass localized by the polarizational part of a corresponding energy tensor T_μ^ν outside the Schwarzschild sphere of the EBH.

If we assume that at the initial stage of universe expansion matter arises only in the form of elementary black holes, the transformation of a possibly cold universe (gas of elementary black holes) into a hot universe in the Big Bang phase requires transformation of elementary black holes into the usual matter. This transformation would be naturally determined by their decay, by an instant transformation into the usual matter.

---

[7] When black holes of extremely small masses are quantized using DeWitt's method, a discrete spectrum arises: $M = m_0(2n+1)^{1/2}$. This would mean that the final state of a black hole is stable [26]. Quantum corrections of the one-loop approximation may have an essential effect.

In [30] an attempt has been made to consider another possibility of transformation of stable maximons of Planck masses into the usual matter. The point is that two or several, say, stable elementary black holes form, when joining, a black hole of larger mass, which is already unstable. In the framework of the Friedmann-type universe (5) the scenario of the initial phase of a maximon-type universe can be in line only with unstable maximons [5, 24].

In the Friedmann initial universe too little time is left for the required disappearance in the process of joining of the stable maximons created since the initial expansion of a Friedmann universe starts at maximum velocities.

Little time is also left for transformation of a collapsing matter into a maximon form.

In this case the model under consideration would offer more opportunities when the initial and final phases of an oscillating universe in the state of maximum density were strongly extended in time.

According to (31) in the process of collapse the mass density of our universe $\left(M_0 \sim 10^{55}\ \text{gr}\right)$ reaches the value $\sim \rho_{\text{Pl}}$, i.e., when elementary black holes can be effectively produced at $R \sim 10^{-14}$ cm.

In this case, when in formula (20) one can neglect the difference $\rho - \rho^3/\rho_{\text{Pl}}^2$ as compared with the term $\Lambda' \cdot \rho^2/\rho_{\text{Pl}}^2$, there appears the equation

$$\left(\frac{\dot{a}}{c}\right)^2 + 1 \sim \frac{16a^2}{l_{\text{Pl}}^2} \tag{38}$$

or

$$a \sim l_{\text{Pl}} \operatorname{ch} \frac{4c}{l_{\text{Pl}}} t. \tag{39}$$

For a between $\sim 10^{-14}$ and $\sim 10^{-33}$ cm we obtain

$$\frac{a}{l_{\text{Pl}}} \sim e^{44} \sim e^{(4c/l_{\text{Pl}})t},$$
$$\Delta t \sim 10 t_{\text{Pl}}; \quad t_{\text{Pl}} \sim \left(\frac{\hbar \varkappa_0}{c^5}\right)^{1/2}. \tag{40}$$

In a universe with a purely electromagnetic radiation[8] Δt appears to be only a little larger.

---

[8] The version of the universe filled with electromagnetic radiation, and in the rest being an analogue of the model (16), has been considered in [13]. This version involves the possibility of discussing in a more explicit form the future of the entropy in the process of collapse.

A universe filled with electromagnetic radiation develops by the law [4, 41]

$$R = \left(\frac{32\pi \tilde{k}}{3c^2}\right)^{1/4} t^{1/2},$$

where $\bar{k} = \varepsilon R^4$ is a constant. Let the radiation mass density at the present time $\rho_r = \varepsilon/c^2 \sim 10^{-34}$ gr/cm^3 at the

But in this situation the desirable annihilation of elementary black holes is apparently improbable too.

True, we deal with the model which in the final stage of its collapse is close to the static Einstein universe. And, generally speaking, it has already become formally possible outside the limits of the model under discussion to decelerate strongly the universe expansion at some stage of the universe history.

The possibility of the transformations of relic stable black holes requires, of course, further investigation. It should also be emphasized that "survived" stable relic black holes–maximons–can exist and die then in the form of long-lived mini-maximon systems [30]: maximonium, maxihelium, maxitritium, etc. So, the estimate show that the life-time of a maximonium with initial dimension $r \sim 10^{-17}$ cm is of the order of the age of our universe. Super-macroscopic formations of celestial bodies consisting of stable maximons ("swarms") are also possible [30]. We can even assume that the total matter density 10^{-29} gr/cm^3 capable of making our universe closed is mainly determined by relic maximons. At such a density maximons are practically unobservable [30].

The problem of the so-called missing masses in the universe could also be solved with the help of relic maximons[9]. A possible presence (in cosmic rays) of energies close to $E \sim 10^{28}$ eV would testify to the existence of long-lived mini-maximon systems [30].

---

radius $R_0 \sim 10^{28}$ cm, then

$$R \sim 10^{18} t^{1/2} \quad \text{or} \quad R \sim 10^{18}\, 1/\dot{\rho}_r^{1/4}.$$

During collapse ρ_r reaches the Planck value $\rho_{Pl} = 10^{94}$ gr/cm^3 at $R \sim 10^{-5}$ cm and at a temperature $T \sim \rho^{1/4}\ 10^9 \sim 10^{32} (°K)$.

At this moment the total entropy of the universe is

$$S_T = \frac{1\sigma}{3c} VT^3 \approx 10^{67} \text{ erg/grad},$$

where $\sigma \sim 10^{-5}$ gr/sec$^4 \cdot$ grad^4 is the Stephan–Boltzmann constant and c is the velocity of light. At this moment the total radiation mass is

$$M = \rho_r V \sim 10^{74} \text{ gr}.$$

If in the final phase of collapse the total radiation mass actually converts into "dust" of elementary black holes, the number of the latter is

$$N = M/m_{Pl} \sim 10^{84}.$$

The black hole entropy $S_{BH} \sim (M_{BH})^2/(m_{Pl})^2 k$, $k \sim 10^{-16}$ erg/grad is the Boltzmann constant.

The elementary black hole entropy is $S_{EBH} \sim 10^{-16}$ erg/grad. Now all the entropy is contained in N elementary black holes

$$NS_{EBH} \sim 10^{68} \text{ erg/grad}.$$

Particle disappearance in the process of collapse, according to (33), leads to a corresponding entropy decrease.

[9] The problem of missing masses could as well be solved with the help of neutrinos with a rest mass [27].

When considering theoretically the problem of maximon stability, one cannot but recollect Hawking's theorems showing that stability of elementary black holes violates the second law of thermodynamics and the CPT theorem [22]. The theorem is formulated as follows.

If there exists, say, a sufficiently large nucleon gas mass $M > 10^{19} \cdot n$ isolated in a certain volume, in which with time black holes are produced, the second law of thermodynamics necessitates that with time the state without black holes should appear.

In light of what has been said about the possibility of transformation of stable black holes, the hypothetical mental experiment would be interpreted as follows.

Indeed, N stable elementary black holes could appear with time in an isolated volume. But then a moment will come when in joining $N - 1$ maximons will disappear, leaving only one stable maximon.

It is possible in principle that some mental experiment could detect this violation of the second law of thermodynamics?

The point is that Hawking's experiment requires preparation of this initial state in a large gas mass with confidence that in this gas mass there exists not a single maximon from the very start.

But if stable maximons fill our universe with the density $\rho \sim 10^{-29}$ gr/cm^3, there must exist some creature, like Maxwell's demon, which would prepare the initial state under these conditions. Moreover, as is seen from the estimates of maximon penetrability, no massive walls of a gas-filled vessel in Hawking's experiment can be safe from penetration into the vessel of maximons from the surrounding space. Massive walls of a vessel can only create a gravitational field facilitating penetration of external maximons.

If we deal with stable maximons which are not black holes, but are close to them in mass, there also exist possibilities of limiting their number in the history of the universe.

If we assume that the nonlinear scalar equation of the type (37) for these particles is such that they can be produced only in pairs, an account of gravitational attraction of the components of a pair in the final state can, at the mass of these particles close to the Planck one, arbitrarily strongly inhibit the appearance of these particles in a free form. Their participation (in an intermediate state) in creation of the usual matter can, however, be very effective. What is more, the number of these particles could at present suffice to provide closeness of the universe.

The case has been considered above as an illustration where at the initial stage of the universe matter arises in the form of "original matter", i.e., some massive scalar field, and disappears in the final phase of collapse in the form of the same scalar original matter[10].

The necessity of gravitational perturbations to also transform into this primary matter is a special difficulty for such a model. If, however, this primary matter is an elementary black hole gas, then, maybe, under conditions of a limiting curvature

$$R_{\mu\nu\lambda\delta} R^{\mu\nu\lambda\delta} \leqslant 1/l_{\rm Pl}^4 \qquad (41)$$

the space itself is a peculiar foam, whose bubbles are elementary black holes.

[10] If one discusses seriously the idea of such an original matter which is the initial form of matter in the universe, the question arises whether it is lawful to use in the one-loop approximation the vacuum expectation values of all other fields which appear in the world only later. Or differently speaking, in the universe of radius $r \leqslant l_{\rm Pl} \sim 10^{-33}$ cm any wavepocket of any field is a black hole.

Leaving aside the discussion of various concrete possibilities, we must return to the most general formulation of the possibility of the oscillating model. We should recall that the main idea does not at all require the existence of any original matter. It requires the existence in the nature of a limiting matter density or, more generally, a limiting curvature value as a universal law of nature.

9. LIMITING MATTER DENSITY AS A UNIVERSAL LAW OF NATURE [10, 33]

As has already been stressed above, our considerations are based on the "limiting principle", according to which matter density is limited to the Planck value. In our concrete model this principle was reflected in the fact that instead of the density $\varkappa p$ in eq. (20) we wrote

$$\varkappa_0\rho\left(1-\rho^2/\rho_{\rm Pl}^2\right). \tag{42}$$

This expression by itself does not guarantee the presence of a limiting density: here ρ can be arbitrarily larger than $\rho_{\rm Pl}$ and, moreover, at $\rho > \rho_{\rm Pl}$ the sign of $\varkappa$ changes – in this case gravity is replaced by antigravity.

But this situation is not realized in our model where the constants are fixed in a certain way ($n = m = 1$; $\Lambda'/\rho_{\rm Pl} = 2$). We always have here $\rho < \rho_{\rm Pl}$.

At other values of the constants the limitation under discussion would, generally speaking, be absent. True, collapse would be replaced by anticollapse, but in this case as a result of sign reversal of gravitational interactions.

The limitations

$$\rho^2/\rho_{\rm Pl}^2 \leqslant 1$$

can be formulated in a covariant form

$$\frac{T_\mu^\nu T_\nu^\mu}{b^2} \leqslant 1, \quad b = c^2\rho_{\rm Pl}, \tag{43}$$

where T_μ^ν should be understood as matter in any of its forms, or in the language of curvatures

$$R_{\mu\nu\lambda\delta}R^{\mu\nu\lambda\delta} \leqslant 1/l_{\rm Pl}^4.$$

But in a consequent theory this limitation must be inherent in its mathematical apparatus.

The Einstein equations can be obtained from the variational principle

$$\delta\int f(R)\sqrt{-g}\,d\tau = 0. \tag{44}$$

In other words, it is desirable that the indicated mathematical apparatus of the theory be obtained by varying the action proposed by Einstein, under condition of an imposed limitation of the form (4).

However, particular cases of the mathematical apparatus restricting the limiting curvature values can be constructed by analogy with Born's old ideas in electrodynamics. The Einstein Lagrangian could be modified, for example, by expressions of the type [10].

$$L = \Lambda\left[1 - \left(1 + \frac{2R}{\Lambda}\right)^{1/2}\right], \quad \Lambda = 1/l_{\rm Pl}^2, \tag{45}$$

or

$$L = \Lambda\left[1 - \left(1 + \frac{2R}{\Lambda} - \frac{CR_{\mu\nu}R^{\mu\nu}}{\Lambda^2}\right)^{1/2}\right], \tag{46}$$

$$L = \Lambda\left[1 - \left(1 + \frac{2R}{\Lambda} - \frac{AR_{\mu\nu\lambda\delta}R^{\mu\nu\lambda\delta}}{\Lambda^2}\right)^{1/2}\right]. \tag{47}$$

On the basis of the Lagrangian (45) there arises, though, a very complicated equation[11]. In the language of curvature the limitation of curvature invariants may turn out to be more acceptable in some other form. The one-loop approximation, for example, of the Lagrangians (45) and (46) leads to the expression close to the Lagrangian (2)

$$-L = R - \frac{1}{2}\frac{R^2}{\Lambda} \tag{48}$$

and

$$-L = R - \frac{1}{2}\frac{R^2}{\Lambda} + \frac{CR_{\mu\nu}R^{\mu\nu}}{\Lambda}. \tag{49}$$

On the basis of the Lagrangian (49), i.e., in the first approximation in $\hbar$ from the Lagrangian (46), there arises an equation just of the type considered by many authors with an account taken of quantum vacuum fluctuations [3, 37].

The purpose of Lagrangians of the type (46) is to limit the curvature growth or, in some sense, the mass density.

If the asymptotical freedom of gravitational interactions is actually realized in quantum corrections, which are now being intensively investigated, then it is not excluded that a series of all approximation in $\hbar$ is summed up in the end into a Lagrangian of the type (46). Unfortunately, the a priori notation of this type of Lagrangian is multiform.

10. FORMATION OF DAUGHTER UNIVERSES

We have not yet considered the role of matter density fluctuations in the universe collapse process. It is natural that in this process density fluctuations will arise in an inhomogeneous and nonisotropic way in the entire universe.

---

[11] $R^{\alpha\beta} - \frac{1}{2}B(1-B)g^{\alpha\beta} + \frac{g_{\alpha\beta}\Box R}{\Lambda B^2} + \frac{g^{\alpha\beta}3\nabla R\nabla R}{\Lambda^2 B} - \frac{1}{\Lambda B^2}R^{\cdot\alpha,\beta} - \frac{3}{\Lambda B^4}R^{\cdot\alpha}R^{\cdot\beta} = 0; \quad B = 1 - 2R/\Lambda.$

One can assume that the matter density limitation law $\left(\rho^2/\rho_{\rm Pl}^2 \leqslant 1\right)$ will correspond to isotropization and homogeneity of the universe in the final phase of its density. Nevertheless, the question arises what happens with the region of the universe where the matter density reached the critical level, as distinguished from other places of the universe. Moreover, such a situation may occur in an expanding universe if we speak of the final stage of collapse of some relatively small celestial body. One can assume, for example, which is quite natural within the model under consideration, that in this case a local site of the universe may begin transforming into a de Sitter universe with a subsequent appearance of a "daughter" universe. A small mass M_0' will be typical of this universe, and if the same mass is retained in the expansion phase, an oscillating daughter universe of small mass will appear, its mass increasing from oscillation to oscillation. Entropy in the daughter universe can be conserved in this situation if in the phase of transformation of the daughter universe into a Friedmann one $n' = M_0'/m_{\rm Pl}$ black holes are produced, which guarantee the same total entropy as that of the mother region of the universe from which the daughter universe was formed.

To say it differently, in its initial history the new daughter universe has entropy and the total mass arbitrarily small as compared with the mother universe, which can, in principle, have an infinite mass an infinitely high entropy.

Daughter universes in their final state can turn out to be closed or almost closed with a total external mass of a maximon if the latter is stable.

It should also be emphasized that complete closeness is not necessary for an oscillating universe. A universe can be semi-closed or almost closed. Our universe could have an external Schwarzschild continuation, e.g., with a maximon mass, if the maximon is stable.

From the same viewpoint it is not excluded that stable elementary black holes could as well be almost completely closed macroscopic universes, inside which daughter universes are also possible. This version of the universe with continuation both in "micro" and "macro" regions can be called a "micro–macro" symmetrical universe [32], where further relativization of our concepts, namely, those of "micro" and "macro", takes place [28, 32]. Differently speaking, any universe is a daughter universe.

11. MACH PRINCIPLE AND DE SITTER UNIVERSE

In the Einstein equation describing a de Sitter universe, the matter-characterising term T_μ^ν is absent. If realization of the Mach principle is associated with the presence of the term T_μ^ν in the Einstein equations, the de Sitter metric contradicts the Mach principle. True, as regards the de Sitter universe, Einstein made the following remark: "The de Sitter solution by no means corresponds to the case of a matterless world, but it rather corresponds to a world where matter in concentrated on the surface $r = (\pi/2)R$ which could apparently be proved by way of limiting transition from the volume to the surface matter distribution" [16].

Einstein's statement was analyzed in [7] for various forms which describe the de Sitter world. The statement is valid if understood in the sense that in the Schwartzschield metric matched with the de Sitter metric, the de Sitter world turns out to be an objects whose mass is numerically determined by the Λ-term.

A corresponding correct matching is done if ref. [14]. For the mass of an object of the de Sitter world we obtain the expression

$$m = \frac{\sqrt{3}}{2}\frac{c^2}{\sqrt{\Lambda}\,\varkappa_0}; \quad \Lambda = \frac{1}{l_{Pl}^2}; \quad m = \frac{\sqrt{3}}{2} m_{Pl}. \tag{50}$$

The Mach principle in its extremely rigorous form can be formulated as follows: the space, more precisely, the tensor g_{ik} in the expression $ds^2 = g_{ik}dx^l dx^k$, is nonzero only if the momentum energy tensor $T_{\alpha\beta}$ is nonzero. This condition is written in the integral form as

$$g_{ik} = \frac{8\pi\varkappa}{c^4}\int T_{\alpha\beta}(y)\,G_{ik}^{\alpha\beta}(xy)\sqrt{-g(y)}\,dy^4. \tag{51}$$

The tensor $G_{ik}^{\alpha\beta}$ is an analogue of the Green functions of the known equations. In this notation a free term must be absent.

In ref. [1, 7, 25] the physical meaning of the condition (51) is analyzed in a simple example of a conformally plane world. It should be stressed that in our model the $\Lambda'(\rho^2/\rho_{Pl}^2)$ term in not a constant and the term $T_\mu^\nu\left(1-\rho^2/\rho_{Pl}^2\right)$ tends to a very small limit, but is nonzero if the universe mass M_0 is not equal to infinity.

The Mach principle should rather be maintained as selection principle [40].

So, it makes more doubtful the idea of the appearance of the universe "from nothing". In the formulation (51) the Mach principle excludes all the versions of the universe except an eternally existing one.

Einstein, in his speech on the occasion of Aurel Stodola's anniversary [17] (Leipzig, 1929), said: "To speak honestly... we would like not only to know how nature is organized (and how the phenomena in nature proceed) but as far as possible to achieve our object, which may seem utopian and daring, to know *why nature is none other than what it is* (Emphasis by *M.M.*). Here scientists find the highest satisfaction. Here is a Promethean element of scientific activity. For me here is a constant charm of scientific thinking".

In his talk with E. Straus Einstein formulates the same idea like this: "What I am really interested in is whether the God could create the world differently".

Apparently the time will come when we understand the selection principle according to which the universe as it is could not have acquired any other form.

Maybe the universe cannot be other than in a perpetually oscillating state.

REFERENCES

1. *Альтшулер Б.Л.* // ЖЭТФ. 1966. Т. 51. С. 1143.
2. *Гинзбург В.Л.* и др. // Там же. 1971. Т. 60. С. 451.
3. *Гриб А.А., Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М.* Квантовые эффекты в интенсивных полях. М.: Атомиздат, 1980.
4. *Гуревич Л.Е., Чернин А.Д.* Введение в космологию. М.: Наука, 1978.
5. *Зельдович Я.Б.* // Успехи физ. наук. 1977. Т. 123. С. 478.
6. *Лифшиц Е.М.* // ЖЭТФ. 1946. Т. 16. С. 587.

7. *Мальцев В.К., Марков М.А.* // Тр. ФИАН. 1977. Т. 96. С. 11.

8. *Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М.* // ЖЭТФ. 1980. Т. 78. С. 20.

9. *Марков М.А.* // Там же. 1966. Т. 51. С. 878.

10. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 214.

11. *Старобинский А.А.* // Там же. 1979. Т. 30. С. 719.

12. *Фролов В.П., Марков М.А.* // ТМФ. 1977. Т. 13. С. 41.

13. *Aman J.M., Markov M.A.* Preprint P-0290 / INR. Moscow, 1983.

14. *Berezin V.A.* // Proc. G.Q. Padova. 1983. Vol. 10.

15. *Eddington A.S.* The Nature of the physical world. L.; N.Y.: Cambridge Univ. press, 1928. P. 74.

16. *Einstein A.* // Sitzungsber. Kgl. Preuss Akad. Wiss. 1918. Bd. 1. S. 270.

17. *Einstein A.* Über den gegenwartigen Stand der Feldtheories Festschrift Prof. Stodola A. zum 70. Geburstag. Zürich; Leipzig: Rusel, 1929. S. 270.

18. *Fischetti M.V., Hartle J.B., Hu B.L.* // Phys. Rev. D. 1979. Vol. 20. P. 1757, 1772.

19. *Fradkin E.S.* // Phys. Lett. B. 1978. Vol. 73. P. 209.

20. *Frolov V.P., Vilkovisky G.A.* // Proc. 2nd Marcel Grossman meeting on general relativity. 1982.

21. *Guth A.H.* // Phys. Rev. D. 1981. Vol. 23. P. 347.

22. *Hawking S.W.* // Ibid. 1976. Vol. 13. P. 191.

23. *Hawking S.W., Ellis G.F.R.* // The large scale structure of space-time. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1973.

24. *Khlopov M.Yu., Polnarev A.G.* // Phys. Lett. B. 1981. Vol. 106. P. 307.

25. *Linden-Bell D.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1967. Vol. 135. P. 413.

26. *Maltsev V.K., Markov M.A.* Quantum closed Friedman miniworld quantum black mini-holes. Moscow, 1980. (Prepr. / INR; P-0160).

27. *Markov M.A.* // Phys. Lett. 1964. Vol. 10. P. 122.

28. *Markov M.A.* // Proc. 2nd Moscow seminar on quantum relativity. Moscow, 1981.

29. *Markov M.A.* On the maximon and the concept of elementary particle. Moscow, 1981. (Prepr. / INR; P-0208).

30. *Markov M.A.* Big-bang, small-bang, micro-bang. Moscow, 1981. (Prepr./INR; P-0207).

31. *Markov M.A.* On the upper limit of the cosmic ray energy spectrum: (Dumand-type experiment). Moscow, 1981. (Prepr. / INR; P-0197).

32. *Markov M.A.* Some remarks on the problem of very early universe. Moscow, 1982. (Prepr. / INR; P-0254).

33. *Markov M.A.* Asymptotical freedom and entropy in perpetually oscillating universe. Moscow, 1983. (Prepr. / INR; P-0262).

34. *Markov M.A.* // Phys. Lett. A. 1983. Vol. 94. P. 427.

35. *Papapetrou A.* // Proc. Roy. Irish Acad. A. 1945. Vol. 51. P. 191.

36. *Rindler W.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1956. Vol. 116. P. 663.

37. *Starobinsky A.A.* // Phys. Lett. B. 1980. Vol. 91. P. 99.

38. *Tolman R.C.* Relativity, thermodynamics and cosmology. Oxford: Clarendon press, 1969.

39. *Wheeler J.A.* // Relativity, groups and topology. N.Y.: Les Houches Lecture, 1964.

40. *Wheeler J.A.* // Gravitation and relativity. N.Y.; Amsterdam: Benjamin, 1964.

41. *Zeldovich Ya.B., Novikov I.D.* The Universe and relativity. Chicago: Univ. of Chicago press, 1978.

ON THE PROBLEMS OF A VERY EARLY UNIVERSE*

The assumption of the existence of a limiting density as a fundamental law of nature has been put forward in refs. [1, 9]. To realize this assumption, the right-hand side of the Einstein equations for a hydrodynamic substance was modified. It turned out that in this case at the initial moment and at the stage of collapse the Friedmann universe must pass in the region near Planck's dimensions in a state close to the de Sitter's one [10, 11].

In ref. [10] also the possibility has been discussed that the fundamental state of matter is some massive scalar field which describes, for example, "maximons". A concrete form of the Lagrangian for such a field has also been proposed with an account of the ideas of a limiting density.

The aim of the present paper is to present a scenario of a very early universe assuming that the universe is filled not with dust, but with a massive scalar field which depends only on time, $\varphi \equiv \varphi(t)$, and to compare it with some scenarios proposed at the present time. In the general case the Einstein equations is modified as follows [10]

$$R_k^i - \frac{1}{2}\delta_k^i R = 3l^2\left[\left(\varphi_{;k}^{;i} - \frac{1}{2}\delta_k^i \varphi^{;l}\varphi_{;l}\right)F\left(\varphi^2/b^2\right) + \frac{1}{2}\delta_k^i m^2\varphi^2\Psi\left(\varphi^2/b^2\right)\right], \tag{1}$$

where $l = (8\pi G/3)^{1/2}$ is the Planck length, $c = \hbar = 1$. The functions F and Ψ should have limitations which would make the scenario under consideration close in its properties to the scenarios in refs. [9, 10]. In particular we require that the function F should be equal to zero at $\varphi = b$. This condition is necessary in order that a limiting value for the energy-momentum tensor of the field exists.

The action for the scalar field can be written as

$$S = \frac{1}{2}\int\left[\varphi^{;l}\varphi_{;l}\, F\left(\varphi^2/b^2\right) - m^2\varphi^2\Psi\left(\varphi^2/b^2\right)\right]\sqrt{-g}\, d^4x. \tag{2}$$

The equations for the field φ are obtained by varying the action (2):

$$F\varphi_{;k}^{;k} + F'\varphi b^{-2}\,\varphi^{;l}\varphi_{;l} + m^2\varphi\Psi + \Psi'\left(\varphi^2/b^2\right) = 0, \tag{3}$$

where the prime stands for the derivative with respect to φ^2/b^2. The field $\varphi = b$ is a solution of eq. (3) only if $\Psi(1) = -\Psi'(1)$. In this case it corresponds to the "vacuum-like" energy-momentum tensor

$$T_k^i = \frac{1}{2}m^2b^2\Psi(1)\delta_k^i, \tag{4}$$

or, which is the same, to the Λ-term in the Einstein equations. Therefore, at $\varphi = b$ an isotropic universe is described by the de Sitter solution. The state of the universe at $\varphi = b$ is the lowest (ground) state in the sense of refs. [4, 12].

---

* Phys. Lett. A. 1984. Vol. 104, N 4. P. 200–203. Co-author *V.F. Mukhanov*.

Now let us investigate the stability of de Sitter's universe under consideration. Let in the Minkowski space ($\varphi \ll b$) the field φ correspond to scalar particles of mass m. Then $F(0) = \Psi(0) = 1$. Assuming that the functions F and Ψ are regular at the point $\varphi = b$ and expanding eq. (3) in a power series of $\tilde{\varphi} = b - \varphi$, we derive the following equation for $y = \tilde{\varphi}^{3/2}\,(\tilde{\varphi} > 0)$

$$y_{,k}^{;k} - \tilde{m}^2 b y^{1/3} = 0. \tag{5}$$

Here $b - \varphi \ll b$, $\tilde{m}^2 = \frac{3}{2}\left[m^2/F'(1)\right]\left[\Psi''(1) + 2\Psi'(1)\right]$. Note that eq. (5) can be obtained directly from the action (2) by expanding the latter in a power series of $(b - \varphi)$ and substituting $\varphi = b - y^{2/3}$. Then the effective potential has the form $V(y) \propto -y^{2/3}$. As is seen from what follows, the specific form of this potential ($V'' \to -\infty$ as $y \to 0$) is responsible for peculiarities of the decay in the de Sitter stage.

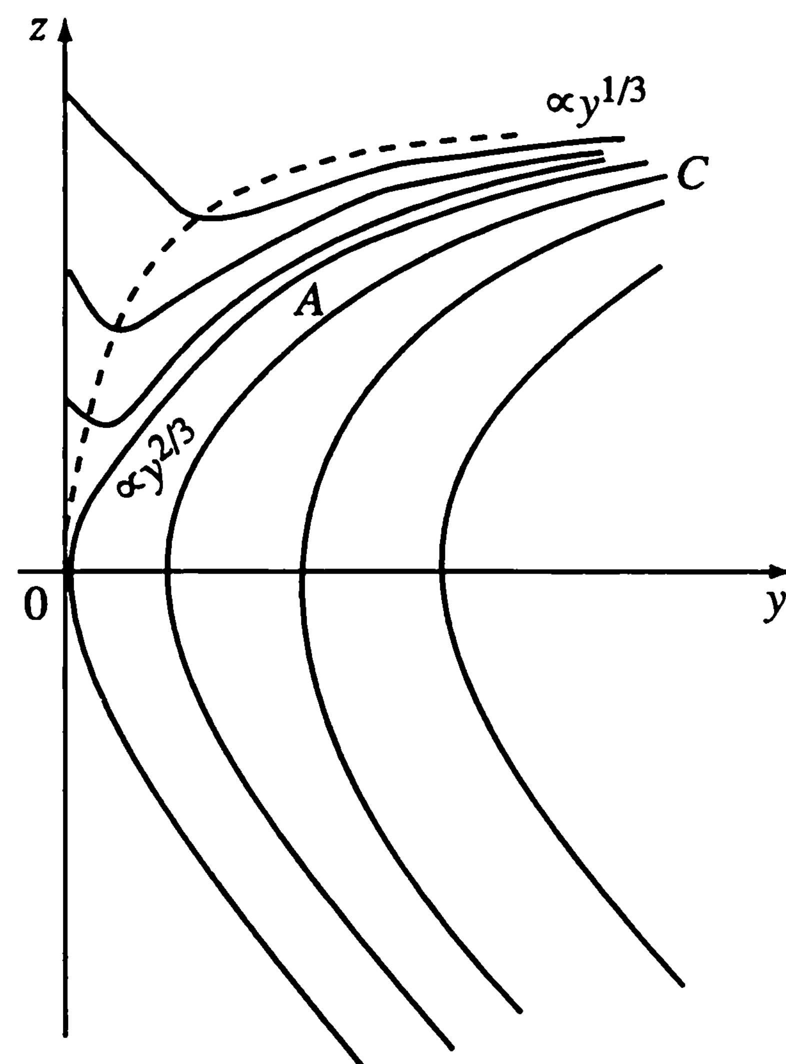


Fig. 1

For a homogeneous perturbation $\tilde{\varphi}(t)\,(y \equiv y(t))$, in an expanding de Sitter universe of zero spatial curvature, eq. (5) is rewritten in the form

$$\ddot{y} + 3H\dot{y} - \tilde{m}^2 b y^{1/3} = 0, \tag{6}$$

where the dot designates differentiation with respect to time t, $H = lmb\left[\frac{1}{2}\Psi(1)\right]^{1/2}$, the scale factor $a(t) \propto \exp(Ht)$. Let $\tilde{m}^2 > 0$ and $m \sim \tilde{m}\left(|\Psi'(1)| \sim |\Psi''(1)| \sim |\Psi''(1) + 2\Psi'(1)| \sim O(1)\right)$. Then eq. (5) is valid almost up to $\tilde{\varphi} \sim b$. This condition holds for a wide class of Lagrangians. For example, it is valid provided that $F = 1 - \varphi^2/b^2$, $\Psi = 1 - 1/2\,\varphi^2/b^2$, $H = (1/2)lmb$.

By substitutions of $z = y'$, eq. (6) is reduced to the first-order equation for $z\,(y)$:

$$z\,dz/dy = -3Hz + \tilde{m}^2 b y^{1/3}, \tag{7}$$

whose phase plane is presented in Fig. 1.

Let us find the analytical form of the most typical solution which passes through the point $\tilde{\varphi} = 0$ ($\varphi = b$) (curve OAC in Fig. 1) in asymptotics. In the region OA one can neglect the first term as compared with the second one in the right-hand side of eq. (7). As a result, we have

$$\varphi \approx \frac{1}{6}\tilde{m}^2 b t^2, \quad t \leq 4/3H. \tag{8}$$

For the characteristic Hubble time ~$1/H$ the field φ changes from b to $\sim b\left(1-\tilde{m}^2/H^2\right)$. At $t > 4/3\ H$, neglecting the derivative in (7), we obtain the solution in the region AC of the OAC curve, which is valid up to $\varphi \sim b$:

$$\tilde{\varphi} \approx \frac{2}{9}\tilde{m}^2 bt/H, \quad t > 4/3H. \tag{9}$$

The de Sitter stage is over when φ becomes of the order of b. From this, using eq. (9), we find the duration of the de Sitter stage in question

$$t_S \sim (H/m)^2 H^{-1} \sim (lb)^2 H^{-1}. \tag{10}$$

For agreement with the observed properties of our universe it is necessary that the duration of the de Sitter expansion stage should exceed 70 Hubble times [3]. In our case this will happen if the critical field b, from which expansion starts, exceeds several times the Planck field[1], $lb \sim 8$–9. The scalar field quantum mass in this case is equal to that of an elementary black hole with $m \sim l^{-1}$ (10^{-5} gr).

If the initial field φ differs from the critical field no more than by the quantity ~$bm^2/H^2 \sim b/(lb)^2$ and the initial values of the derivatives are not very large, the duration of the de Sitter stage in question does not practically depend on the initial conditions and is determined by the expression (10). From this it follows that the duration of the de Sitter stage and, accordingly, the parameters of the arising Friedmann universe are given by the constants of the theory for a wide class of initial conditions. At the beginning of the de Sitter stage, the energy-momentum tensor may differ from the critical value $T_k^i\left(\varphi = b\right)$ by a considerable quantity $\sim m^2 b^2/(lb)^2$, and all the same the parameters of the arising world will be almost the same as in the case $T_k^i = T_k^i\left(\varphi = b\right)$. In this respect the model considered does not resemble the hydrodynamic model [10], where the small difference between the initial and limiting densities strongly affects the duration of the de Sitter stage.

The de Sitter model under consideration has common features with different inflation scenarios [2, 5–8, 13], and at the same time does not concretely resemble any of them. Like in all the models considered [2, 5–8, 13], in order to guarantee a long de Sitter stage it is necessary that at some stage the condition $H^2 \gg V''(y)$ be satisfied. In some sense our scenario is, naturally, not an exception. The characteristic features that distinguish different inflation models are the following: (a) the initial spatial configuration of the field φ;

---

[1] A long de Sitter stage can also be obtained in the case when the critical field b is exactly equal to the Planck one. Then, however, rather strong limitations should be imposed on the possible Lagrangian of the field φ. For example, for a scalar field with the action.

$$S = \frac{1}{2}\int\left\{\varphi^{,k}\varphi_{,k}\left[1-(l\varphi)^2\right] - m^2\varphi^2\left[1+\left(1-2\tilde{m}/9m^2\right)\left[(l\varphi)^4-\frac{3}{2}(l\varphi)^2\right]-\frac{1}{4}(l\varphi)^6\right]\right\}\sqrt{-g}\,d^4x.$$

The duration of the de Sitter stage is equal to $t_S \sim \left(m/\tilde{m}\right)H^{-1}$. If $\tilde{m} < 10^{-2}m$, then $t_S > 10^2 H^{-1}$.

(b) concrete reasons for the fulfillment of the condition $H^2 \gg V''$ and peculiarities of the decay of the de Sitter universe. In our case, like in the standard inflation scenarios [2, 5–7, 13], the duration of the de Sitter expansion is determined by the parameters of the theory. However, the character of the discussed instability differs from that conditioned by the possibility of subbarrier tunnelling [6] or from that connected with the initial quantum fluctuations of the scalar field [7, 13] in the models based on potentials of the scalar field with nonlinearities of the type $\lambda\varphi^4$, $\lambda\varphi^4 \ln(\varphi/\varphi_0)$.

Here only due to classical perturbations even the de Sitter model with $\varphi = b$ has a finite lifetime which is practically independent of the magnitude of small initial perturbation. At the same time in the inflation models [2–7, 13] the duration of the de Sitter expansion will depend strongly on the magnitude of small initial perturbation if we disregard quantum fluctuations of the scalar field or the possibility of subbarrier tunnelling. And it is only the account of the latter effect that unambiguously connects the duration of the de Sitter stage with the parameters of the theory, making this duration practically independent of the initial conditions for a rather wide class of such parameters. The classical character of the investigated instability of the de Sitter universe makes it almost similar to the instability in the chaotic scenario of an expanding universe [8]. However, as distinguished from the chaotic scenario, in our case the field φ is homogeneous at the initial moment ($\varphi \approx b$). Such an initial state of the universe may be the ground state in the sense of ref. [4]. The duration of the de Sitter expansion is determined by the parameters of the theory, but not by the initial conditions, which does not resemble the model [8] and is conditioned by the existence of a separated points $\varphi \approx b$.

A long de Sitter stage can be conditioned either by a large initial field $\varphi > l^{-1}$ for rather arbitrary functions Ψ, like in the chaotic scenario, or by a specific form of the "effective" potential, its "smoothing out" (see footnote 1). Both the cases can be realized in the considered model. This is not the main feature of our model. Our main goal is, proceeding from the extension of the ideas about the limiting density to the case of a scalar field, to show that one can naturally pass over to an effective potential of a rather specific form ($V''(y) \to \infty$ at $\varphi - b = y^{2/3} \to 0$) leading to the de Sitter stage of universe expansion with a specific decay due to which the proposed scenario of universe expansion has a number of features common with different inflation models and at the same time essentially differs from them. This scenario unites some characteristic features of the inflation scenarios [2–5, 7, 13].

One can regard a massive scalar field as a kind of primary matter, in other words, assume that at the de Sitter stage matter is born only in the form of elementary particles, scalar field quanta of maximum masses (maximons). Then only a later decay of maximons gives rise to a whole variety of fields in nature after the de Sitter phase. And on the contrary, at the final stage of collapse, under the condition of a limiting density, matter transforms into a gas of maximons, in which form it then passes over into a vacuum-like state of the de Sitter universe. The consideration shows that in our case for a rather wide class of initial conditions (but not for some exceptional ones) in the course of contraction the universe also passes through the de Sitter stage.

On the other hand, if maximons are identified with elementary black holes ($m \sim \sim 10^{-5}$ gr), which are naturally produced in any form of matter of a maximum limiting density, then all differences about fields vanish, and there remains only the concept of mass

density. It is not excluded, therefore, that the hydrodynamic formulation of the initial phase of the universe (maybe even at the pressure $p = 0$) is the most exact of its descriptions.

In conclusion we note that the limitations imposed on the magnitude of the field φ, which may result from the fulfillment of the condition $F(1) = 0$, do not automatically entail a limitation on the energy-momentum tensor since $\dot{\varphi}$ can be given arbitrarily. Nevertheless, if we restrict ourselves to regular solutions of eq. (3), the existence of limiting values of the energy-momentum tensor invariants will follow automatically from the equations. More complex scalar nonlinear fields, for which limitations on the energy density are fulfilled under rather arbitrary initial conditions, are considered elsewhere.

REFERENCES

1. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 214.
2. *Albrecth A., Steinhard P.J.* // Phys. Rev. Lett. 1982. Vol. 48. P. 1220.
3. *Guth A.H.* // Phys. Rev. D. 1981. Vol. 32. P. 347.
4. *Hartle I.B., Hawking S.W.* Wave functions of the Universe. Cambridge, 1983. (Prepr. / DAMTP).
5. *Hawking S.W., Moss I.G.* // Phys. Lett. B. 1982. Vol. 110. P. 35.
6. *Linde A.D.* // Ibid. 1982. Vol. 108. P. 389.
7. *Linde A.D.* // Ibid. 1982. Vol. 116. P. 335.
8. *Linde A.D.* // Ibid. 1983. Vol. 129. P. 177.
9. *Markov M.A.* // Ibid. A. 1983. Vol. 94. P. 427.
10. *Markov M.A.* Problems of perpetually oscillating universe. Moscow, 1983. (Prepr. / INR; P-0286).
11. *Markov M.A., Aman E.G.* Oscillating universe in the case $p \neq 0$. Moscow, 1983. (Prepr. / INR; P-0290).
12. *Markov M.A., Maltsev V.K.* The ground state of the closed universe and the problem of the ordering of the operators. Moscow, 1982. (Prepr. / INR).
13. *Starobinsky A.A.* // Phys. Lett. B. 1982. Vol. 117. P. 175.

DE SITTER-LIKE INITIAL STATE OF THE UNIVERSE AS A RESULT OF ASYMPTOTICAL DISAPPEARANCE OF GRAVITATIONAL INTERACTIONS OF MATTER*

Some authors [1, 3, 6, 7] have considered modified Einstein equations (written ad hoc), which at large matter energy densities ε describe the de Sitter universe of Planck dimensions:

$$R^i_k - \frac{1}{2}\delta^i_k R = G(\varepsilon)\tilde{T}^i_k + \Lambda(\varepsilon)\delta^i_k, \quad (1)$$

* Nuovo cim. B. 1985. Vol. 86, N 1. P. 97–102. Co-author *V F Mukhanov*.

where

$$\tilde{T}_k^i = (\varepsilon + p)u^i u_k - p\delta_k^i \tag{2}$$

and the functions G and Λ possess the following properties: at high energies $G(\varepsilon) \to 0$ and $\Lambda(\varepsilon) \to \lambda$, λ is an arbitrary constant.

In the above-mentioned papers eqs. (1) have not been obtained from the variational principle. If in the action S written for a gravitational field and a hydrodynamics substance

$$S = \frac{c^4}{16\pi G_0}\int (R + 2\varkappa\varepsilon)\sqrt{-g}\, d^4x, \tag{3}$$

one assumes that $\varkappa$ is some function of the energy density ε:

$$\varkappa \equiv \varkappa(\varepsilon) = \frac{8\pi G_0}{c^4}\psi(\varepsilon), \tag{4}$$

then the variation of S with respect to the metric g_{ik} leads to modified equations of the form

$$R_k^i - \frac{1}{2}\delta_k^i R = \left(\varepsilon\frac{\partial\varkappa}{\partial\varepsilon} + \varkappa\right)\tilde{T}_k^i - \varepsilon^2\frac{\partial\varkappa}{\partial\varepsilon}\delta_k^i . \tag{5}$$

In the variations with respect go g_{ik} we use here the Fock method [2]: the density ε is presented in the form

$$\varepsilon = \rho^*\left(c^2 + \Pi\left(\rho^*\right)\right), \tag{6}$$

where ρ^* is the rest mass density which satisfies the continuity equation

$$\left(\rho^* u^i\right)_{,i} = 0 \tag{7}$$

and

$$\Pi\left(\rho^*\right) = \int_0^{\rho^*} \frac{dp\left(\rho^*\right)}{\rho^*} - \frac{p\left(\rho^*\right)}{\rho^*} \tag{8}$$

is the internal energy per unit rest mass. In the variation of the metric δh_{ik} the density ρ^* changes by the quantity

$$\delta\rho^* = \frac{1}{2}\rho^*\left(u^i u^k - h^{ik}\right)\delta g_{ik} \tag{9}$$

and, accordingly,

$$\delta\varepsilon = \frac{1}{2}(\varepsilon + p)\left(u^i u^k - g^{ik}\right)\delta g_{ik} . \tag{10}$$

Comparing (1) and (5), we find

$$G(\varepsilon)=\varepsilon\frac{\partial\varkappa}{\partial\varepsilon}+\varkappa,\quad \Lambda(\varepsilon)=-\varepsilon^2\frac{\partial\varkappa}{\partial\varepsilon}. \tag{11}$$

Thus, in the general case, at an arbitrary function $\varkappa(\varepsilon)$, the energy-momentum tensor obtained form action (3) contains a Λ-like term. This term is equal to zero if and only if in the action coincides with the Einstein–Fock action, i.e. at $\varkappa = \text{const}$.

The function $\psi(\varepsilon)=c^4\varkappa(\varepsilon)/8\pi G_0$ must be the function of the dimensionless energy density $\chi=\varepsilon/\varepsilon_0$, where the only candidate to the role of ε_0 is the Planck density. In the theories [1, 3, 6, 7] a physically observed quantity is $G(\varepsilon)\tilde{T}_k^i$. The fact that it is limited is taken as a fundamental law in all the versions of the discussed conception [1]. In some cases the equations imply that the "energy" density ε is limited. This happens, for example, in the model [7] for a closed isotropic universe. But there is evidently no reason to exclude the case $\varepsilon\to\infty$ within the formalism if the condition $G(\varepsilon)\tilde{T}_k^i \leqslant \text{const}$ is satisfied.

According to [1, 3, 6, 7] we shall obtain, by varying the generalized action (3), modified eq. (1), which at large ε describes a universe arbitrarily close to the de Sitter one. Let us formulate the result as a theorem: if eqs. (1) are obtained from the action (3), $G(\varepsilon)$ is positive for each ε and, at $\varepsilon\to\infty$, $G(\varepsilon)\varepsilon\to 0$, then at large densities a homogeneous *isotropic* closed universe is described by a solution arbitrarily close to the de Sitter one. The condition $G(\varepsilon)\varepsilon\to 0$ at $\varepsilon\to\infty$ implies in some sense the property of asymptotical disappearance of gravitational interactions of matter[1]. Note that, if the natural requirement $G(\varepsilon)>0$ is fulfilled for each ε, it is impossible to provide a simultaneous decrease down to zero of the quantities $G(\varepsilon)\varepsilon$ and $\Lambda(\varepsilon)$ with an increase of ε if eqs. (1) are obtained from action (3).

Now let us prove the above theorem. First of all notice that in considering this case the functions $G(\varepsilon)$ and $\Lambda(\varepsilon)$ are unambiguously connected. As follows from (11),

$$\Lambda(\varepsilon)=\int_0^{\varepsilon}G(\varepsilon)\,d\varepsilon-G(\varepsilon)\varepsilon$$

and

$$\varkappa(\varepsilon)=\frac{1}{\varepsilon}\int_0^{\varepsilon}G(\varepsilon)\,d\varepsilon. \tag{12}$$

---

[1] Our assumption concerning a decrease of the gravitational constant with an increase of ε is in line with the presently discussed idea of asymptotical freedom of gravitational interactions [4]. If condition (7) is fulfilled in our scenario of the Universe, as distinguished from [7], particles do not vanish in the process of collapse, but the energy tensor $T_k^i=\left(\varepsilon(\partial\varkappa/\partial\varepsilon)+\varkappa\right)\tilde{T}_k^i$ tends to zero at $\varepsilon\to\infty$. Figuratively speaking, particles do not vanish in the process of collapse, but each of them seems to become more and more immaterial. And, when the tensor T_k^i vanishes altogether, "immaterial souls" of particles form the vacuum of the de Sitter universe.

Here the integration constants are chosen so that $\varkappa(\varepsilon) \to 8\pi G_0/c^4$ at $\varepsilon \to 0$. Further, since $G(\varepsilon)\varepsilon \to 0$ at $\varepsilon \to \infty$ and $G(\varepsilon) > 0$, it follows from (11) that, as the density ε increases, the Λ-term tends to a constant value equal to $\Lambda_0 = \int_0^\infty G(\varepsilon)\,d\varepsilon > 0$.

Let us consider an isotropic closed universe with the metric

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t)\gamma_{\alpha\beta}\,dx^\alpha dx^\beta, \tag{13}$$

where $\gamma_{\alpha\beta}$ is the metric of three-dimensional space of constant positive curvature. The equations of motion for matter are obtained from the conditions $\left({}^{(g)}T_k^i\right)_{,i} = 0$ which are a consequence of Bianchi identities. In an isotropic universe with the metric (13) the equation ${}^{(g)}T_{0,i}^i = 0$ is

$$\left(\frac{\partial G}{\partial \varepsilon}\Big/\frac{G}{\varepsilon} + \frac{\partial \Lambda}{\partial \varepsilon}\Big/G + 1\right)d\varepsilon = -3(p+\varepsilon)\,d\ln a, \tag{14}$$

$$d\varepsilon = -3(p+\varepsilon)\,d\ln a. \tag{15}$$

Action (3) in the isotropic universe (13) is written as follows:

$$S = -\frac{3\pi c^4}{4G_0}\int\left[a\dot{a}^2 - a + \frac{a^3}{3}\int_0^\varepsilon G(\varepsilon)\,d\varepsilon\right]dt. \tag{16}$$

The corresponding Hamiltonian is obtained in the form

$$\mathcal{H} = -\frac{G_0}{3\pi c^4}\frac{p^2}{a} + \frac{3\pi c^4 a}{4G_0}\left(-V(a) - 1\right), \tag{17}$$

where $p = -\left(3\pi c^4/2G_0\right)a\dot{a}$ and the potential $V(a)$ is

$$V(a) - = -\frac{a^2}{3}\int_0^{\varepsilon(a)} G(\varepsilon)\,d\varepsilon. \tag{18}$$

To find the evolution of the scale factor $a(t)$, we use, along with (15), the 0–0 component of Einstein equations, which is reduced to the condition on the Hamiltonian $\mathcal{H}$: $\mathcal{H} = 0$:

$$\dot{a}^2 + V(a) = -1. \tag{19}$$

Thus, our problem is equivalent to the problem of the motion of a particle of energy (1) in a field with a potential $V(a)$. Further we shall see that, as distinguished from [5], there exists here only one region allowed for motion. As an example we consider dust with $p = 0$. Then from (15) we get $\varepsilon = c/a^3$. Let us find the potential $V(a)$ in asymptotics ($\varepsilon \to 0$, $\varepsilon \to \infty$) for a wide class of functions $G(\varepsilon)$ which satisfies the above conditions. Let us determine $a_{\min}$

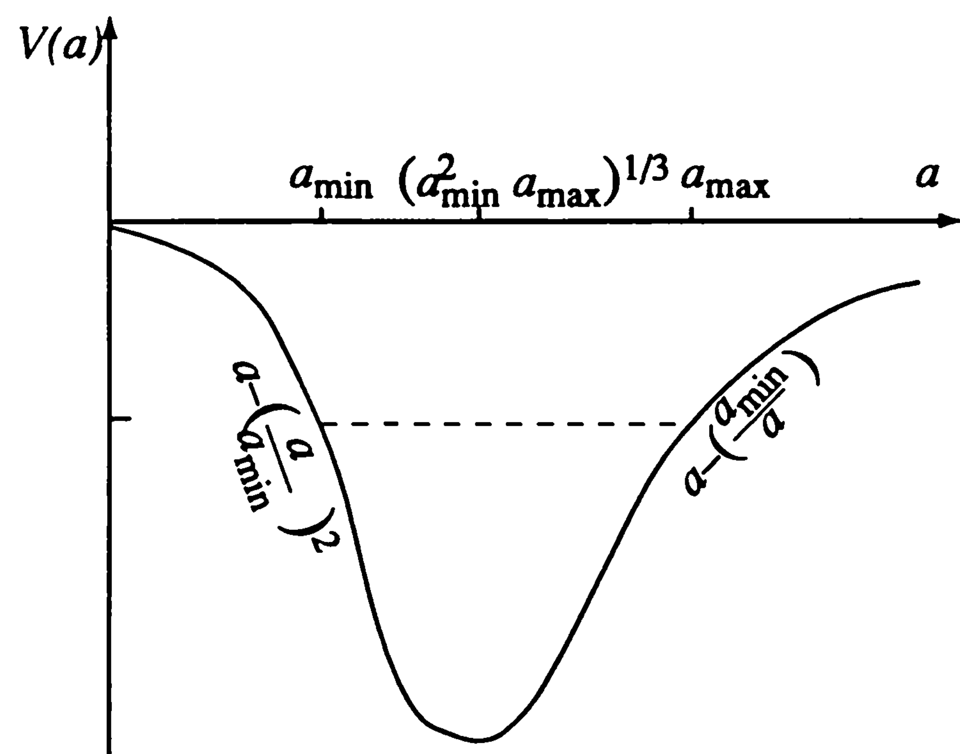


Fig. 1. The potential V(a) as a function of the scale factor a. The dashed line corresponds to the motion of the Universe

and a_{max} (correspondingly the minimum and the maximum radii of the Universe) from the condition $\dot{a}_{\substack{min\\max}} = 0$, or equivalently

$$V\left(\dot{a}_{\substack{min\\max}}\right) = -1. \tag{20}$$

At $\varepsilon \ll \varepsilon_0 \sim \varepsilon_{Pl}$ (the radius of the Universe at $\varepsilon \sim \varepsilon_{Pl}$ is equal to $\left(a_{min}^2 a_{max}\right)^{1/3}$ [7]) $G(\varepsilon) \simeq \simeq 8\pi G_0/c^4$ and the integral in (18) is equal to $\int_0^{\varepsilon} G(\varepsilon)d\varepsilon \simeq \left(8\pi G_0/c^4\right)\varepsilon(a)$. From this, taking into account (20), we get

$$V(a) \simeq -\frac{a_{max}}{a}, \quad a \ll \left(a_{min}^2 a_{max}\right)^{1/3}. \tag{21}$$

Accordingly, at $\varepsilon \gg \varepsilon_{Pl}$, $\int_0^{\varepsilon} G_{Pl}(\varepsilon)d\varepsilon \simeq \left(8\pi G_0/c^4\right)\varepsilon_{Pl} \sim$ const and

$$V(a) \simeq -\left(\frac{a}{a_{min}}\right)^2, \quad a \ll \left(a_{min}^2 a_{max}\right)^{1/3}. \tag{22}$$

The potential $V(a)$ is schematically shown in Fig. 1. It is obvious that, at $\varepsilon \ll \varepsilon_{Pl}$, the Universe will evolve like the Friedmann universe filled with usual dust and, at $\varepsilon \gg \varepsilon_{Pl}$, it will be described by the de Sitter solution. As an example we shall find the radius a_{min} for $G(\varepsilon) = \left(8\pi G_0/c^4\right)\left(1 + \varepsilon/\varepsilon_{Pl}\right)^{-2}$. In this case eq. (20) has the form

$$\frac{8\pi G_0}{3c^2} a_{min}^2 \frac{M m_{Pl}}{M l_{Pl}^3 + m_{Pl}\, a_{min}^3} = 1, \tag{23}$$

where M is the total mass of the Universe. At $M l_{Pl}^3 \gg m_{Pl} a^3$, we obtain $a_{min} \simeq \sqrt{3/8\pi}\, l_{Pl}$. In other words, if the total mass of the dustlike universe is much larger than the Planck mass, the recoil of the Universe happens when in the process of collapse it contracts to the Planck dimensions. The closeness to the Planck dimensions is determined by the total mass of the dust [7]. The final state of a collapsing universe is at the same time the initial state of a subsequent expansion. In their turn the problems of a perpetually oscillating universe can probably be solved with an account taken of quantum fluctuations when the collapse stops at a minimum radius of the Universe [7].

In conclusion, we note that singularity can be avoided in our case because the energy dominance condition is violated at large densities. As is shown in ref. [7], this may be due to the dependence of the particle mass on the energy density. The modification of action (3) may have the same reason.

REFERENCES

1. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 214.

2. *Фок В.А.* Теория пространства, времени и гравитации. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1955.

3. *Aman E.G., Markov M.A.* Oscillating universe in the case $p \neq 0$. Moscow, 1983. (Prepr. / INR; P-0290).

4. *Fradkin E.S., Vilkovisky G.A.* // Phys. Lett. B. 1978. Vol. 77. P. 262.

5. *Hartle I.B., Hawking S.W.* // Phys. Rev. D. 1983. Vol. 28. P. 2960.

6. *Markov M.A.* // Phys. Lett. A. 1983. Vol. 94. P. 427.

7. *Markov M.A.* Problems of perpetually oscillating universe. Moscow, 1983. (Prepr. / INR; P-0286).

МАКРО-МИКРОСИММЕТРИЧЕСКАЯ ВСЕЛЕННАЯ*

Дж.А. Уилер в его марченовской лекции (1971 г.), озаглавленной "За границей времени", рассматривает "гравитационный коллапс как величайший кризис в истории физики".

В его специфическом уилеровском стиле, если можно так сказать, современной натурфилософии им дается "сравнение и противопоставление коллапса вселенной, предсказываемого классической теорией, и классически предсказанного коллапса атома". Это введение к последующему изложению набрано подчеркнуто крупным шрифтом. Далее Уилер вспоминает случай классически предсказываемого коллапса атома, т.е. того случая, когда в состоянии классического атома электрон должен неизбежно падать на ядро ("коллапс атома"), напоминает выходящее за рамки классической теории неожиданное решение этой проблемы в квантовой теории, подчеркивает аналогию этого в прошлом величайшего кризиса классической физики с ее другим величайшим кризисом – коллапсом вселенной в рамках классической теории гравитации Эйнштейна. В этом сравнении обсуждаются различные пути выхода из нового "величайшего кризиса классической теории".

Поучительно привести эту выдержку из уилеровского доклада [38] (см. таблицу).

* Теоретико-групповые методы в физике. М.: Наука, 1986. С. 7–41.

Сравнение и противопоставление коллапса вселенной, предсказываемого классической теорией, и классически предсказанного коллапса атома

Система	Атом (1911 г.)	Вселенная (70-е годы)
Динамический объект	Система электронов	Геометрия пространства
Сущность коллапса, предсказываемого классической теорией	Электрон, движущийся по направлению к точечному центру притяжения, за конечное время приобретает бесконечную энергию	Не только вещество, но и само пространство за конечное собственное время переходит в состояние с бесконечной плотностью
Один отвергнутый "выход из положения"	Отказ от закона Кулона для силы	Отказ от эйнштейновского уравнения поля
Другой "легкий выход из положения", который должен быть отвергнут	"Ускоренно движущийся заряд не обязательно излучает"	"Вещество не может быть сжато сверх некоторой определенной плотности, каким бы сильным ни было давление"
Как последнее предложение нарушает принцип причинности?	Кулоновское поле точечного заряда не может изменяться с бесконечной скоростью на бесконечно больших расстояниях при внезапных изменениях скорости заряда	Скорость звука не может превышать скорость света, давление не может превышать плотность массы-энергии
Основное новое соображение, вводимое при признании квантового принципа в качестве всеобщего организующего принципа физики	Принцип неопределенности: близость к центру притяжения приводит к тому, что кинетическая энергия нулевых колебаний превосходит потенциальную энергию; вследствие этого существует наинизшее квантовое состояние, в котором система не может излучать, поскольку нет состояния с более низкой энергией, в которое можно было бы перейти	Принцип неопределенности: распространение волнового пакета в суперпространстве не приводит детерминированным образом к единственной конфигурации геометрии пространства; вместо этого имеется распределение вероятностей различных исходов, причем каждый исход описывает вселенную разного размера с различными наборами масс элементарных частиц, различным числом частиц и различными промежутками времени, необходимыми для ее расширения и сжатия

Нам представляется, что соображения Уилера о вселенной в предельной фазе коллапса, характере этого состояния ("черный ящик") и своеобразии возрождения вселенной после коллапса очень близки к истине.

В последующем изложении мы постепенно подходим к обсуждению уилеровского толкования конечного этапа коллапса, его квантового этапа.

Но начнем изложение с обсуждения; по терминологии Уилера, "легкого выхода из положения", который предполагает, что "вещество не может быть сжато сверх некоторой определенной плотности". Этот "легкий выход" действительно должен быть, как утверждает Уилер, отвергнут, если налагается, как это делает Уилер, условие: "каким бы сильным ни было давление". Необходимость такого условия естественно отпадает, если можно построить такой вариант теории, в котором в процессе коллапса, например, фридмановская вселенная в процессе достижения некой критической плотности (максимальной плотности) превращалась бы во вселенную де Ситтера, для которой характерно изменение знака давления. В этом случае происходит нарушение энергодоминантности. Такое конечное де-ситтерообразное состояние коллапса не является сингулярным. Ниже мы проиллюстрируем возможность такого классического сценария, сценария вселенной Фридмана–де Ситтера. Мы подчеркиваем "классический сценарий", потому что предельная плотность ρ в этом сценарии намного меньше плотности Планка:

$$\rho_0 \ll \frac{c^5}{\hbar \varkappa^2}. \tag{I}$$

Построение и обсуждение этого классического сценария имеет, на наш взгляд, полезное, но главным образом *методическое* значение. Дело в том, что в рамках классической теории нельзя указать числовое значение возможной предельной плотности вещества. В квантовой же теории из мировых констант (c – скорость света, $\varkappa$ – гравитационная постоянная и $\hbar$ – постоянная Планка) составляется величина, которая может претендовать на роль предельной плотности, именно:

$$\rho_0 = \rho_{Pl} = \frac{c^5}{\hbar \varkappa^2} \sim 10^{94}\ \text{г/см}^3. \tag{II}$$

Но теория, в которой определяющую роль должна играть предельная плотность в форме (II), неизбежно должна быть квантовой теорией, для которой приведенные выше соображения Уилера могут быть решающими. Однако, рассматривая внутренне непротиворечивый математический аппарат классического сценария вселенной Фридмана–де Ситтера и полагая $\rho \to \rho_0$, можно на этом пути получить ряд результатов, полезных при обсуждении такой специфической трудности осциллирующей вселенной, как непрерывный рост энтропии от осцилляции к осцилляции, образование "дочерних" вселенных в процессе коллапса в рамках "материнской" вселенной и т.д.

ПРЕДЫСТОРИЯ ИДЕИ ВСЕЛЕННОЙ ФРИДМАНА–ДЕ СИТТЕРА

В последние годы в большинстве работ, посвященных космологии, рассматриваются проблемы так называемой "очень ранней вселенной", и исходная "очень ранняя вселенная" берется в виде нестабильной вселенной типа де Ситтера, бурное рождение материи в которой превращает ее во вселенную Фридмана.

Путь к пониманию того, что вселенная типа де Ситтера может оказаться существенным элементом в космологических построениях, был не прост. Необходимо было преодолеть психологический барьер, который мешал рассматривать вакуумообразную энергию полноправной формой энергии вообще. Для плотности тензора энергии, который обычно пишется в правой части уравнения Эйнштейна, характерно существование в каждой точке среды единственной локальной *сопутствующей системы отсчета.* С момента появления в теории гравитации решения де Ситтера считалось, что это решение описывает пустую вселенную, вселенную, лишенную материи. Так называемый Λ-член, характерный для вселенной де Ситтера, как и плотность энергии, имеет природу симметрического тензора второго ранга:

$$\Lambda g_{ij},$$

но его своеобразие заключается в том, что для него любая система отсчета является сопутствующей системой координат. Тензор $\Lambda\delta_i^k$ диагонален в любой системе координат.

Напомним, что в книге Толмена [14, с. 359] сказано, что "модель де Ситтера – это такая модель, в которой собственное давление и плотность связаны соотношением

$$\rho_{00} + p_0 = 0.$$

Собственная плотность материи ρ_{00} по своей физической природе может быть только положительной или нулевой. Давление в принципе может быть и отрицательным. Однако ни один из существующих видов материи, который мы здесь представляем себе как идеальную жидкость, даже если примем во внимание внутренние силы сцепления, не может создать такое отрицательное давление, которое в принятых единицах хотя бы отдаленно приближалось по абсолютной величине к плотности".

Приведенное физическое толкование модели вселенной де Ситтера примерно полувековой давности сохранилось, в сущности, без изменения в книге С. Хокинга и Дж. Эллиса [16]: "Эти пространства (т.е. пространства де Ситтера) можно считать решениями уравнений поля в пустом пространстве с $\Lambda = R/4$ (R – скаляр Риччи. – *М.М.*) или решениями для идеальной жидкости с постоянной плотностью $R/32\pi$ и с постоянным давлением $R/32\pi$. Однако последняя трактовка, по-видимому, неприемлема, поскольку тогда или давление, или плотность должны быть отрицательными".

Но еще в 1965 г. появилась работа Э.Б. Глинера [2], в которой "вакуумообразная" энергия мира де Ситтера рассматривается как полноправный член семейст-

ва различных форм материи. Эта равноправность достигается в рамках даваемой автором классификации свойств тензора энергии (T_{ik}), в которой "единственность сопутствующей системы заранее нельзя считать обязательной для любой физической среды".

"То, что возможно иное отношение движения и материи, чем для обычного вещества, видно из того, что, например, свободное электромагнитное поле ($E^2 - H^2 = 0$; $EH = 0$) вообще не имеет сопутствующей системы координат".

Если речь идет о равноправности форм энергии, то естественно предполагать и возможность их взаимных превращений.

"Отрицательные давления означают, что внутренние объемные силы в веществе являются не силами отталкивания, а силами притяжения... это наводит на мысль, что при сверхплотном состоянии вещества, когда барионы сжаты настолько, что мезонные поля, обеспечивающие взаимодействие между ними (отталкивание!), не могут возникнуть, образуется континуальная среда, условия в которой соответствуют притяжению между элементами вещества и феноменологически описываются отрицательным давлением. *Например, такое состояние могло бы достигаться при гравитационном коллапсе*" (курсив мой. – *М.М.*). И пять лет спустя (1970 г.) Глинер публикует статью под названием "Вакуумообразное состояние среды и фридмановская космология" [3]. "Цель данной заметки, – пишет Глинер, – показать, что вакуумоподобное состояние физической среды (тензор энергии $T_{ik} = \Lambda g_{ik}$) может быть исходным пунктом любой из трех моделей Фридмана". Если вакуумоподобное состояние среды может стать исходным любой из трех моделей Фридмана, то речь идет о вакуумоподобном состоянии среды как некоторой формы первоматерии[1]. Но для осуществления такой программы истории вселенной необходим "исходный пункт" – другими словами, необходима начальная вселенная с вакуумоподобным состоянием ее среды. И возможность превращения вакуумоподобной энергии в форму энергии, характеризуемой единственной сопутствующей системой координат, уже в мире Фридмана.

Существенный шаг в этом направлении был сделан в работах А.А. Старобинского [13] и близко к ним примыкающим работам В. Мостепаненко [11], С. Мамаева и В. Мостепаненко [9].

В работе А.А. Старобинского показано на примере конформно-ковариантного поля материи, что в однопетлевом приближении имеются самосогласованные решения, описывающие мир де Ситтера с плотностью энергии вакуума, близкой к

---

[1] В изложении Глинера вакуумоподобное состояние среды очень близко к понятию первичного состояния мира по Анаксагору. Первичная материя мира, по Анаксагору, представляет собой какую-то измельченную смесь всех веществ, которые потом образуются в этом мире. Мы не так уж далеки от истины, утверждая, что, по существу, Анаксагором была высказана гипотеза о первичности материи в Λ-образной форме общей теории относительности. Эта форма материи, по Анаксагору, "лишена какой-либо способности движения". До начала космообразования бесконечно малые частицы этой среды первоначально покоились каждая на своем месте: они не изменялись и не перемещались, ибо не было ничего, что побуждало их изменяться и перемещаться [12]. Можно ли здесь говорить о каком-то гениальном предвидении Анаксагора, этот вопрос лучше оставить без ответа. Но, во всяком случае, с современной точки зрения точка зрения Анаксагора на первичное состояние материи во вселенной беспредельно ближе к нам, чем понятие материи в виде воды Фалеса, воздуха Анаксимена, огня Гераклита.

планковской, который в процессе экспоненциального расширения преобразуется во фридмановскую вселенную. Решения обсуждаемого типа получены при условии, что $R_{iklm}R^{iklm} \ll l_{\rm Pl}^{-4}$, где $l_{\rm Pl}$ – длина Планка, т.е. при пренебрежении высшими петлевыми поправками. Такое приближение позволяет рассматривать гравитационное поле как поле классическое, уклониться в этом приближении от необходимости квантования гравитационного поля, уклониться от всех трудностей, связанных с пока не решенной проблемой квантовой гравитации.

Следует напомнить, что к обсуждаемому времени в теории поля как таковой возникло много существенно нового. В известном смысле стала тривиальностью возможность существования вакуумов с различными уровнями вакуумообразной энергии, понимание возможности туннельного просачивания материи "между вакуумами". Существенно обогатила физику новыми представлениями о свойствах материи единая теория слабых и электромагнитных взаимодействий, возникшая в работах Вайнберга–Глешоу–Салама. Здесь имеется в виду, в частности, спонтанное нарушение симметрии в калибровочных полях. Для понимания свойств сверхплотного вещества основополагающей явилась работа А.Д. Киржница [6], согласно которой в сверхплотном веществе, в веществе с достаточно высокой температурой, нарушенная симметрия должна восстановиться, классическое скалярное поле (φ), приводящее к нарушению симметрии, должно исчезнуть, в частности, векторные бозоны ($W_\mu^\pm$ и Z_μ^0) должны стать безмассовыми. Идея фазовых переходов была использована для описания поведения материи в ранней вселенной и последующих изменений ее плотности, или, что то же самое, температуры. Речь идет о так называемых раздувающихся вариантах вселенной. Название "раздувающаяся вселенная" возникло в работе А. Гуса [21]. Работой Гуса было положено начало обсуждениям следствий различных сценариев ранней вселенной для объяснения таких свойств нашей Вселенной, как ее "плоскостность", налагающая жесткое условие на плотность материи в очень ранней вселенной, и свойство однородности Вселенной в областях, "причинно не связанных". Этой плодотворной и конкретной деятельностью характеризуется последовавший за работой Гуса цикл работ А. Линде и других авторов. Правда, в этих работах содержатся попытки разрешить многие трудности, которые привносятся в проблему ранней вселенной развитием идей великого объединения, суперсимметричными теориями и даже супергравитаций, которые еще далеки от завершения. Так, в обзоре А. Линде дан список двенадцати проблем, стоящих перед теорией горячей Вселенной[2].

Варианты всех сценариев раздувающейся вселенной предполагают, что вселенная на ранних стадиях своей эволюции могла находиться в неустойчивом вакуумообразном состоянии, обладающем большой плотностью энергии. Как следствие экспоненциального расширения (раздувания) вселенной в результате распада вакуумоподобного состояния возникает высокая плотность энергии, характеризующаяся уже сопутствующей системой координат во вселенной Фридмана.

[2] Пока отнюдь, например, не исключено, что даже такая проблема, как проблема барионной асимметрии, может еще найти свое решение, как когда-то полагали Хокинг и Зельдович, в свойствах черных дыр. Не исключено также, что проблема монополей не обязательно будет реальной проблемой будущей теории, т.е. монополи в будущей теории могут просто отсутствовать, и т.д.

Другими словами, в раздувающихся вариантах вселенной находит свою различную реализацию глинеровская идея ранней истории фридмановских вселенных.

В подробном обзоре А. Линде [8, 30], внесший значительный вклад в развитие формализма раздувающейся вселенной, подводит итог трехлетней деятельности в развитии данного вида сценариев ранней вселенной.

"Как видно из всего, что было сказано выше, за три года своего существования сценарий раздувающейся вселенной сильно модифицировался. Согласно первому варианту этого сценария, раздувание должно было осуществляться *до* фазового перехода из сильно переохлажденного симметричного состояния (А. Гус). Затем было понято, что этот вариант сценария раздувающейся вселенной не работает, но можно предложить новый, более хороший сценарий, согласно которому раздувание происходит *во время* фазового перехода" [28] (см. также [17]). "Наконец в последнее время было понято, что гораздо проще и естественнее все получается в сценарии хаотического раздувания, *вообще не основанном на теории высокотемпературных фазовых переходов* (курсив мой. – *М.М.*) в ранней вселенной" [7].

В последнем варианте раздувающейся вселенной по-прежнему требуется какое-то начальное вакуумоподобное состояние, какой-то "эффективный потенциал". Этот потенциал локальным образом мог бы существовать, например, в бесконечной вселенной. Для сценария хаотического раздувания важно, чтобы существование областей "нужного типа" в единице объема (исходной вселенной) не равнялось нулю.

"В бесконечной вселенной будет бесконечно много таких областей, каждая из которых после раздувания (и последующего расширения) становится как бы отдельно мини-вселенной с размерами, превышающими размер наблюдаемой части Вселенной $l \sim 10^{28}$ см". Более того, эти необходимые "зародыши" будущей конкретной вселенной, обсуждаемые области пространства в принципе могли бы возникать как квантовые флуктуации "из ничего". Возникновение материи "из ничего" в общем не является новой идеей. Модель стационарной вселенной, предложенная Бонди и Гольдом [19], основана на предложении о непрерывном рождении материи, а Пирани [39], Хойл и Нарликар [25] рассматривают и механизм такого рождения, если в дополнение к обычной материи ввести скалярное поле с отрицательной плотностью энергии (так называемое *С*-поле). В такой вселенной, как и во вселенной де Ситтера, нарушается принцип энергодоминантности. Существенно, что в закрытой вселенной рождение материи не противоречит закону сохранения энергии, если рождение материи компенсируется гравитационным дефектом масс [24].

Существенны для дальнейшего изложения два обстоятельства.

1. Рождение "из ничего", если не нарушать закон сохранения энергии, предполагает рождение только закрытых вселенных. В закрытой вселенной возникает проблема коллапса.

2. Квантовые флуктуации как возможное начальное состояние требуют существования по меньшей мере вакуумной среды – арены возможных квантовых флуктуаций, т.е., в сущности, некоторой уже существующей вселенной[3], если не

[3] Это замечание относится не в меньшей мере и к модели Старобинского, к которой существенно приблизились в своем развитии сценарии раздувающихся вселенных.

маскировать существование такой первичной вселенной набором некоторых, пока туманных соображений. Но если речь идет об образовании "мини-вселенных" в рамках уже существующей какой-то "пра-вселенной", то можно указать и более естественный механизм "отщепления" "дочерних" вселенных, который совсем не связан с квантовыми флуктуациями. В принципе, как это следует из дальнейшего, такой механизм появления "дочерних" вселенных мыслим и в рамках классической (не квантовой) физики.

КЛАССИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАКРЫТОЙ ВСЕЛЕННОЙ ФРИДМАНА–ДЕ СИТТЕРА

Под классической моделью закрытой вселенной Фридмана–де Ситтера понимается такой сценарий осциллирующей вселенной, когда закрытая вселенная Фридмана, коллапсируя из своего состояния максимального расширения, в процессе достижения некоторого минимального (но еще ультрамакроскопического) радиуса превращается в макроскопическую вселенную де Ситтера. После чего начинается новый цикл расширения, относительно короткого (экспоненциального), в процессе которого вселенная де Ситтера превращается во вселенную Фридмана. Минимальный радиус вселенной гарантируется требованием, чтобы плотность тензора материи не превышала бы некоторой предельной плотности ρ_0. Математический аппарат теории строится таким образом, что предельно большое, но конечное значение плотности материи, которое достигается в процессе коллапса, не является каким-то добавочным условием, наложенным волевым образом на данную модель, а реализуется автоматически в модифицированных уравнениях Эйнштейна. Модификация уравнений Эйнштейна заключается, например, в том, что правая часть записывается следующим образом:

$$R_\mu^\nu - \tfrac{1}{2} R\delta_\mu^\nu = \frac{8\pi\varkappa_0}{c^4}\left[T_\mu^\nu F\left(\frac{T_\mu^\nu T_\nu^\mu}{c^4\rho_0^2}\right) + \Lambda'\theta\left(\frac{T_\mu^\nu T_\nu^\mu}{c^4\rho_0^2}\right)\delta_\mu^\nu c^2\right], \qquad (1)$$

где $\varkappa_0$ – гравитационная константа, Λ' – константа.

Функции F и θ выбираются таким образом, что $F \to 0$, когда $T_\mu^\nu T_\nu^\mu \to \rho_0^2 c^4$, и $\theta \to 1$, когда $T_\mu^\nu T_\nu^\mu \to \rho_0^2 c^4$. При $T_\mu^\nu T_\nu^\mu \ll \rho_0^2 c^4$ $F \to 1$, а $\theta \to 0$.

Таким образом, при малых плотностях энергий второй член в (1) исчезает ($\theta \to 1$, $F \to 1$) и уравнение (1) описывает закрытую вселенную Фридмана. При $T_\mu^\nu T_\nu^\mu \to \rho_0^2 c^4$ первый член в правой части уравнения (1) исчезает, второй член принимает вид $\Lambda'\delta_\mu^\nu c^2$, т.е. вселенная становится вселенной де Ситтера.

Конкретный математический аппарат развивался в ряде работ, в которых вначале был рассмотрен вариант пылевидной вселенной с давлением $p = 0$ [10], затем случай $p \neq 0$ [18]. Вначале писалось измененное уравнение Эйнштейна типа (1), затем уравнения подобного класса получались из соответствующего выражения

для действия с помощью вариационного принципа [37]. Ковариантная дивергенция от левой части уравнения (1) обращается в нуль, поэтому то же самое должно иметь место и для правой части уравнения.

Обозначая правую часть уравнения (1) через K_μ^ν, мы получаем, что

$$K_{\mu,\nu}^{\nu} = 0. \tag{2}$$

$K_{0;\rho}^{\rho}$ в развернутом виде запишется как

$$\frac{1}{\sqrt{-g}}\frac{\partial}{\partial t}\left(T_0^0 F\sqrt{-g}\right) + \Lambda'\frac{\partial}{\partial t}\theta = 0. \tag{3}$$

Таким образом, в теории возникает своеобразный закон "сохранения энергии".

Первый член в левой части уравнения (3) представляет собой энергию в сопутствующей системе координат, которая уменьшается с увеличением плотности и исчезает, если плотность становится равной критической. Но этот процесс сопровождается ростом вакуумообразной энергии, ростом функции θ. Процесс превращения плотности энергии сопутствующей системы в вакуумообразную энергию подчиняется "закону сохранения" (3).

Своеобразие математического аппарата теории проще всего иллюстрировать на случае закрытой пылевидной вселенной Фридмана. В случае закрытой изотропной и однородной вселенной Фридмана

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t)[d\chi^2 + \sin^2\chi(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)], \tag{4}$$

где $a(t)$ – радиус вселенной, вернее, масштабный фактор.

Пусть $F = (1 - \rho^2/\rho_0^2)$ и $\theta = \Lambda'\rho^2/\rho_0^2$. Тогда уравнение Эйнштейна:

$$\left(\frac{\dot a}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} = \frac{8\pi\varkappa_0}{3c^2}\left[\rho\left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right) + \Lambda'\frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right]. \tag{5}$$

Теперь существенно меняется "закон сохранения" (2)

$$K_{\mu,\nu}^{\nu} = 0,$$

и интегрирование соответствующего уравнения (2) приводит к выражению

$$\rho(\rho_0^2 - \rho^2)\left|\frac{\rho_0 + \rho}{\rho_0 - \rho}\right|^{\Lambda'/\rho_0} = \frac{B}{a^3}. \tag{6}$$

Константа интегрирования $B = \dfrac{M_0\rho_0^2}{2\pi^2}$. M_0 – общая масса вселенной.

Рассмотрим модель в случае $\Lambda'/\rho_0 = 2$. Уравнение (6) теперь принимает вид

$$\rho\frac{(\rho_0 + \rho)^3}{|\rho_0 - \rho|} = \frac{M_0\rho_0^3}{2\pi^2 a^3}. \tag{7}$$

Уравнение для определения $a_{\min}$ и $\dot{a} = 0$ имеет вид

$$1 = \frac{8\pi\varkappa_0 a^2}{3c^2}\left[\rho\left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right) + \Lambda' \frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right]. \tag{8}$$

Уравнения (7) и (8) совместны при $\rho_{\max} = \rho_0 - \Delta$, где $\Delta \ll \rho_0$. Из (7) следует, что

$$\rho_{\max} \sim \frac{M_0 \rho_0}{8\rho_0 a_{\min}^3 + M_0}, \tag{9}$$

из (8) следует, что

$$1 \sim 2a^2 \Lambda_0; \quad \Lambda_0 = \Lambda' \frac{3c^2}{8\pi\varkappa_0}. \tag{10}$$

В этом случае при $\rho_0 \sim 10^{21}$ г/см^3

$$\Lambda_0 \sim 10^{-6}\ \text{см}^{-2}; \quad a_{\min} \sim 10^{+3}\ \text{см} \tag{11}$$

и

$$\rho_{\max} \sim \frac{M_0 \rho_0}{m_0 + M_0}, \tag{12}$$

где $m_0 \sim \rho_0 8 a_{\min}^3$, или

$$\rho_{\max} \sim \rho_0 \left(1 - \frac{m_0}{M_0}\right). \tag{13}$$

Таким образом, при $\rho_0 \sim 10^{21}$ г/см^3 в момент прекращения коллапса, т.е. в момент "отскока", радиус вселенной $a_{\min} \sim 10^{+3}$ см, а плотность фридмановской массы (при условии $M_0 \gg m_0$)

$$\rho_F = \rho_{\max}\left(1 - \frac{\rho_{\max}^2}{\rho_0^2}\right) \sim 10^{+21}\,\text{г/см}^3; \qquad \Lambda' \sim 10^{+21}\,\text{г/см}^3.$$

Фридмановской плотностью массы в этот момент можно пренебречь по сравнению с Λ'-членом. Это значит, что вселенная к этому моменту уже давно находилась на стадии вселенной де Ситтера:

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} \cong \Lambda_0, \tag{14}$$

$$a_{F-S} \sim a_{\min} e^{c\sqrt{\Lambda_0}\, t}. \tag{15}$$

Во фридмановской фазе коллапса плотность ρ приближается к критической при

$a_F = \left(\frac{M_0}{\rho_0} \right)^{1/3}$. В этой модели фаза де Ситтера ($\rho_0 \sim 10^{21}$ г/см^3) соответствует параметру a от a_{F-S} до $a_{min} \sim 10^{+3}$ см. При $M_0 \sim 10^{55}$ г $a_F \sim 10^{11}$ см, $a_{min} \sim 10^{+3}$ см. Так как вселенная все время остается закрытой, то полная масса ее сохраняет нулевое значение.

В момент максимального расширения вселенной $\rho_{min} \sim 10^{-29}$ г/см^3, Λ-образный член:

$$\frac{8\pi\varkappa_0\Lambda'}{3c^2} \frac{\rho_{min}^2}{\rho_0^2} \sim 10^{-100} \text{см}^{-2}. \tag{16}$$

Таким образом, в момент максимального расширения вселенной становится строго фридмановской, вернее, в этот момент эйнштейновской.

Такая вселенная не может быть стабильна [40] и должна коллапсировать. Вселенная не может быть стабильна и после момента остановки коллапса, когда она находится в де-ситтерообразной фазе. После остановки коллапса должно начаться расширение вселенной, что представляет собой классический аналог известных инфляционных сценариев вселенных.

Как известно, в предложенных сценариях раздувающихся вселенных остаются нерешенными две фундаментальные трудности.

1. Наличие сингулярности в начальный момент во всех вариантах вселенных (открытых, закрытых, плоских).

2. Большое численное значение Λ-члена во фридмановской фазе. Эти две фундаментальные трудности отсутствуют в данной классической модели.

ОБРАЗОВАНИЕ "ДОЧЕРНИХ" ВСЕЛЕННЫХ, ПРОБЛЕМА РОСТА ЭНТРОПИИ В ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

Рассматриваемая "демонстрационная" модель вселенной остается классической и при плотностях, значительно больших рассмотренного случая. Для этого достаточно, чтобы

$$\rho_0 \ll \rho_{Pl} = \frac{c^5}{\hbar\varkappa^2} \sim 10^{94} \text{г/см}^3. \tag{17}$$

В процессе коллапса при достижении таких огромных плотностей возможно возникновение такой флуктуации плотности в каком-то участке вселенной, когда полная масса (допустим, многих частиц – пылинок) будет погашаться их гравитационным дефектом [5, 27]. Если это случится и данная область вселенной, вернее данное число пылинок, замкнется в закрытую вселенную с некоторым внутренним радиусом, определяемым количеством материи (числом пылинок), то это число пылинок, скажем, барионов исчезнет для внешнего по отношению к этой вселенной наблюдателя. Такую вселенную будем называть дочерней. Для простоты рассмотрения мы выше обсуждали вселенную, заполненную пылью, т.е. с

давлением $p = 0$. В статье Амана и автора [18] излагается вариант вселенной и при $p \neq 0$.

Еще Толменом было обращено внимание на то, что в осциллирующей вселенной в процессах расширения и сжатия должна возрастать энтропия. Этот процесс сопровождается разогреванием вселенной, увеличением ее энергии, т.е. массы, что ведет к возрастанию максимального радиуса вселенной от осцилляции к осцилляции. Рассматривая историю осциллирующей вселенной, авторы приходят к заключению, что осциллирующая вселенная должна иметь свое начало. Если радиус нашей Вселенной в настоящее время конечен и близок к $R \sim 10^{+28}$ см, то такая Вселенная должна была когда-то начать свое существование. Возможность образования дочерних вселенных способна разрешить эту проблему, т.е. проблему роста энтропии, даже в рамках классической модели.

В истолковании параметров нашей Вселенной следует применить "антропный принцип". Мы оказались в такой дочерней вселенной, именно с такими параметрами, с такими, в частности, условиями, в которых оказалось возможным существование организованной материи на ее высочайшем уровне. Образование дочерних вселенных и сами дочерние вселенные по своей природе могут быть, по-видимому, многообразны.

Когда-то О. Клейн [27] обратил внимание на возможное существование полузамкнутых миров. Действительно, если при наличии большого числа частиц состояние системы таково, что гравитационный дефект почти равен "голой" массе всех частиц, то система частиц оказывается под сферой Шварцшильда. Это значит, что появляется объект с как угодно малой массой для внешнего наблюдателя сферы Шварцшильда. Таким образом, возникает так называемая черная дыра второго рода [34]. Допустим, что рассматриваемая вселенная с ее "голой" массой на самом деле закрытая. Это значит, что полная масса ее равна нулю. Равен нулю и ее полный электрический заряд. Если в такую вселенную вложить один единственный лишний электрон, то такая вселенная перестает быть замкнутой. Для внешнего наблюдателя такая вселенная имеет рейсснер-нордстремовское продолжение и проявляется как заряженная микрочастица с планковской массой и планковскими размерами. Такая система характеризуется релятивизацией понятий "макро" и "микро". Внутри это вселенная со всеми ее ультрамакроскопическими размерами, галактиками, возможными цивилизациями, а вне ее это микрочастица. А так как внутри этой вселенной возможно существование таких же частиц и вселенная, в которой наша Вселенная также, в свою очередь, может быть микрочастицей, то в соответствии с этой идеей и возник такой заголовок статьи "Макро-микросимметрическая вселенная". Ее предельным случаем является случай, когда все эти вселенные, вложенные одна в другую, окажутся замкнутыми. Кстати, о дальнейшей судьбе обсуждаемой выше системы, "почти закрытой" вселенной с единственным электрическим зарядом, непросто сделать определенные суждения – для внешнего наблюдателя такая вселенная остается микрообъектом планковских размеров со всеми существующими трудностями их рассмотрения. Здесь возможны различные случаи:

а) такая вселенная мгновенно излучает электрический заряд, закроется и перестанет быть наблюдаемой в пространстве, куда излучен электрический заряд;

следует заметить, что в этом случае вселенная является источником излучения частицы примерно с планковской энергией;

б) система может оказаться стабильной;

в) распад может осуществляться со значительным временем полураспада.

Мы еще вернемся к обсуждению свойств таких систем в дальнейшем при рассмотрении своеобразий предельных (холодных) элементарных черных дыр, таких дыр, для которых вся масса равна их заряду или целиком определяется их энергией вращения. Такие черные дыры обладают нулевой температурой и не подвержены хокинговскому излучению.

ВЫБОР ρ_0 В РЕАЛЬНОМ СЦЕНАРИИ
(квантовый характер сценария)

В классической (не квантовой) физике нет никаких указаний на возможное существование такой универсальной величины, как максимальная плотность материи в сопутствующей системе координат, т.е. в системе ее покоя. В квантовой же теории из таких мировых констант, как c – скорость света, $\hbar$ – постоянная Планка и $\varkappa$ – гравитационная постоянная, можно составить величину размерности плотности массы, именно так называемую планковскую плотность:

$$\rho_{Pl} = \frac{c^5}{\hbar\varkappa^2} \sim 10^{94}\,\text{г/см}^3. \tag{18}$$

Обращает на себя внимание одно, по-видимому, немаловажное обстоятельство, что в модифицированных уравнениях Эйнштейна (1), (5) ρ входит в отношении $(\rho/\rho_0)^n$. Используя в качестве ρ_0 выражения для планковской плотности, члены типа $(\rho/\rho_0)^n$ перепишем в виде

$$\left(\frac{\rho\varkappa^2\hbar}{c^5}\right)^n. \tag{19}$$

При $\hbar \to 0$ они все исчезают.

Иначе говоря, при $\hbar \to 0$ модифицированное уравнение Эйнштейна (вернее, его правая часть) принимает вид классического уравнения Эйнштейна.

Существенная роль постоянной Планка в варианте рассматриваемой модели, как нам представляется, повышает эвристическую ценность развиваемой точки зрения на возможный механизм остановки коллапса. На первый взгляд кажется, что предложенная нами модификация уравнений Эйнштейна представляет собой некий формальный прием, введенный ad hoc, не имеющий глубокого физического смысла. На самом же деле модификация уравнения Эйнштейна математически реализует идею асимптотической свободы гравитационных взаимодействий. В рассматриваемых сценариях именно ослабление гравитационных взаимодействий на малых расстояниях является причиной остановки коллапса.

АСИМПТОТИЧЕСКАЯ СВОБОДА ГРАВИТАЦИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МОЖЕТ ЯВИТЬСЯ ПРИЧИНОЙ ОСТАНОВКИ КОЛЛАПСА

Эта черта обсуждаемых сценариев вселенной убедительнее всего раскрывается при выводе модифицированных уравнений Эйнштейна из вариационного принципа. Такой вывод дается в [37], он принадлежит Муханову и автору.

Исходная функция записывается в обычном виде

$$S = \frac{c^4}{16\pi G_0} \int (R + 2\varkappa\varepsilon)\sqrt{-g}\, d^4x, \tag{20}$$

если G_0 и $\varkappa$ – константы, R – кривизна Риччи, g определяет метрику, ε – плотность энергии. Но ситуация существенно меняется, если положить, что $\varkappa$ является некой функцией плотности энергии. Варьируя действие по метрике g_{ik}, получаем уравнение вида

$$R_k^i - \tfrac{1}{2} R\delta_k^i = G(\varepsilon)T_k^i + \Lambda(\varepsilon)\delta_k^i. \tag{21}$$

Здесь $T_k^i = (\varepsilon + p)u^i u_k - p\delta_k^i$, p – давление, $G(\varepsilon)$ и $\Lambda(\varepsilon)$ соответственно выражаются через $\varkappa(\varepsilon)$:

$$G(\varepsilon) = \varepsilon\frac{\partial\varkappa}{\partial\varepsilon} + \varkappa; \qquad \Lambda(\varepsilon) = -\varepsilon^2\frac{\partial\varkappa}{\partial\varepsilon}. \tag{22}$$

Здесь желательно обратить внимание на два обстоятельства.

1. Рассмотрение ведется в общем случае, т.е. при давлении $p \neq 0$.

2. При произвольной функции $\varkappa(\varepsilon)$ тензор энергии-импульса, полученный из действия (20), содержит Λ-образный член.

Λ-образный член равен нулю в том и только в том случае, если действие совпадает с действием Эйнштейна, т.е. когда $\varkappa = \text{const}$. Зависимость $\varkappa(\varepsilon)$ от плотности энергии переходит в уравнении (21) в зависимость $G(\varepsilon)$ от плотности энергии, что можно интерпретировать как зависимость гравитационной константы от ε, $G(\varepsilon)$. И если функция $G(\varepsilon)$ убывает с ростом плотности энергии, то ее можно рассматривать как функцию, ослабляющую гравитационное взаимодействие на малых расстояниях. Так как изменение плотности энергии связано со временем (например, в однородной и изотропной вселенной Фридмана)

$$t \sim \frac{\text{const}}{\varepsilon^2}, \tag{23}$$

то данную зависимость $G(\varepsilon)$ можно переписать как зависимость гравитационной константы от времени. Зависимость гравитационной константы от времени обсуждалась многократно в литературе (Дирак, Иордан и др.). Здесь идет речь о временно́й зависимости, которая обратна зависимости, предполагаемой, например, Дираком. То обстоятельство, что причиной остановки коллапса вселенной в данном

сценарии является асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий, возводит предложенную вначале ad hoc модификацию уравнения Эйнштейна в ранг физической теории.

В [35] в очень общем виде (в виде теоремы) формулируется класс модифицированных уравнений Эйнштейна, описывающих сценарий.

"Если $G(\varepsilon)$ в уравнении (22) положительно при любом ε и при $\varepsilon \to \infty$ $G(\varepsilon)\varepsilon \to 0$, то однородная изотропная замкнутая вселенная при больших плотностях описывается решением, сколь угодно близким к де-ситтеровскому".

Действительно, функции $G(\varepsilon)$ и $\Lambda(\varepsilon)$ связаны следующим образом:

$$\Lambda(\varepsilon) = \int_0^{\varepsilon} G(\varepsilon)d\varepsilon - G(\varepsilon)\varepsilon. \tag{23'}$$

Поскольку $G(\varepsilon)\varepsilon \to 0$ при $\varepsilon \to \infty$ и $G(\varepsilon) \geqslant 0$, из предыдущего уравнения (23) следует, что при возрастании плотности ε Λ-образный член стремится к постоянной величине, равной

$$\Lambda_0' = \int_0^{\infty} G(t)dt. \tag{24}$$

Например, полагая в (20) $\varkappa = \left(1 - \frac{1}{3}\frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_0^2}\right)$, получаем

$$G(\varepsilon) = \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_0^2}\right); \quad \Lambda'(\varepsilon) = {}^2\!/_3 \frac{\varepsilon^3}{\varepsilon_0^2};$$
$$\varepsilon \to \varepsilon_0, \quad G(\varepsilon) \to 0; \quad \Lambda'(\varepsilon) \to {}^2\!/_3 \varepsilon_0. \tag{25}$$

Формула (25) – это как раз те значения функции F и θ, которые выбраны нами при иллюстрации одного из сценариев [18]. Здесь следует еще раз подчеркнуть, что введенная нами предельная максимальная плотность материи в сопутствующей системе координат относится к тому, что мы называем "фридмановской плотностью":

$$\varepsilon' = \varepsilon G(\varepsilon). \tag{26}$$

Именно с этой плотностью связывается сопутствующая система координат, именно эта плотность является физически наблюдаемой величиной[4]. Именно ограничение этой плотности трактуется нами как фундаментальный закон природы на том же уровне общности, как закон, ограничивающий скорость материи скоростью света

---

[4] В случае, например [37], $G(\varepsilon) = \left(1 + \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^{-2}$ ε' и $\Lambda'(\varepsilon)$ остаются конечными и положительными при $\varepsilon \to \infty$.

($v < c$), и закон, налагающий условия на величину действия ($S > \hbar/2$). Как показывают конкретные варианты сценариев, ε' совпадает с ε при малых значениях $\varepsilon/\varepsilon_0$. ε отличается от ε' только вблизи классической сингулярности, где ε носит характер формального параметра, в принципе в зависимости от выбора функции $G(\varepsilon)$ могущего принимать как угодно большие значения, а значения ε' остаются меньше значения ε_0.

Как следует из текста [37], при варьировании действия (20) применена методика Фока [15], в которой используется выражение для плотности частиц n, удовлетворяющее уравнению непрерывности:

$$(nu^i)_{,i} = 0. \qquad (27)$$

Как следует из приведенных частных примеров рассматриваемых сценариев, в области, близкой к остановке коллапса, "фридмановская" (наблюдаемая) плотность материи ε' стремится к нулю, радиус, т.е. объем вселенной, уменьшается, следовательно, уменьшается "голая" гравитационная масса вещества. При наличии уравнения сохранения числа частиц (27) обсуждаемую ситуацию можно описать таким образом: частицы не исчезают в процессе коллапса, но каждая из частиц становится все более и более "бесплотной" (меньшей массы), вернее, меньше "весит" вследствие ослабления гравитационного взаимодействия. В то же время исчезающая гравитирующая (фридмановская) масса как совокупность как бы "бесплотных душ" переходит в своеобразную де-ситтеровскую вакуумообразную энергию. Обращает на себя внимание также то, что уравнение (5), написанное ad hoc, не следует из вариационного принципа и выражения для действия, приведенного в (21). В отличие от (20) здесь изменения F и θ определяются не только наличием асимптотической свободы гравитационных взаимодействий, но также и возможностью исчезновения частиц при коллапсе и рождения их при расширении вселенной[5]. Вследствие тождества Бьянки этот процесс также связан с рождением частиц (фридмановской материи) из де-ситтеровского вакуумообразного состояния и исчезновением частиц при превращении гравитирующей (фридмановской) энергии в де-ситтеровскую вакуумообразную энергию. Таким образом, не только асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий, но и исчезновение частиц фридмановской материи может быть причиной остановки коллапса. Во вселенной типа Хойла–Нарликара также нарушается условие энергодоминантности, нарушения которого требует решение проблемы сингулярности. Известно, что метрики этих теорий находятся в классе метрик де Ситтера. Как известно, упрощенная картина[6] классической вселенной Фридмана, заполненной пылевидной

---

[5] Уравнения типа (5) с заданной константой Λ' получаются из действия с условием $(nu^i)_{,i} \neq 0$.

[6] Упрощение заключается в том, что в данном случае рассматривается классическая, в сущности ньютоновская, картина динамики однородной гравитирующей среды в так называемой сопутствующей системе координат. Среда, в данном случае "пыль", заполняет сферу конечного радиуса. Но удачным образом возникающие здесь формулы аналогичны выражениям, которые получаются в решениях соответствующих уравнений общей теории относительности. Но там идет речь о поведении со временем так называемого масштабного фактора, который характеризует изменение со временем расстояния в пространстве между двумя точками.

материей, развивается согласно закону [5]:

$$R = \left(\tfrac{2}{9} M_0 \varkappa\right)^{1/3} t^{2/3}, \qquad (28)$$

где M_0 – полная масса вселенной. Точнее, M_0 – это полная масса частиц пыли, заполняющих вселенную при давлении p, равном нулю, $\varkappa$ – константа гравитационного взаимодействия, t – время, отсчитываемое от $t = 0$. Правая часть уравнения (28) определяет размеры вселенной в момент t. Обращает на себя внимание то, что в начальный момент вселенная начинает расширяться с бесконечно большой скоростью. Производная по времени

$$\dot{R} = \tfrac{2}{3} \frac{\left(\tfrac{2}{9} M_0 \varkappa\right)^{1/3}}{t^{1/3}} \qquad (29)$$

при $t \to 0$ стремится к бесконечности.

Давно обращено внимание на то, что такая картина расширения вселенной ведет к некоторой "серьезной" трудности. Дело в том, что наша Вселенная в крупном масштабе представляет собой материю с однородным и изотропным распределением. Спрашивается, каким же причинным механизмом "закладывается" эта однородность в начальный момент времени, если скорости разлета таковы, что исключают причинную связь между отдельными областями Вселенной. Причинная связь осуществляется сигналами, распространяющимися со скоростью, не превышающей скорость света. Речь идет, таким образом, о давно известной трудности, связанной с фридмановской вселенной, которая обычно носит название "проблема горизонта". Проблема горизонта была бы решена, если бы можно было изменить временну́ю зависимость закона расширения очень ранней вселенной, т.е. если бы, например, было

$$R \sim t^n,$$

где $n > 1$.

Тогда скорость расширения вселенной $R \sim t^{n-1}$ при $t > 0$ была бы очень малой в отличие от случая (29). Этого можно было бы достичь, предположив, что фактор $\left(\tfrac{2}{9} M_0 \varkappa\right)^{1/3}$ в выражении (28) представляет собой при малых временах не константу, а некоторую возрастающую от нуля или от малой величины функцию времени. Такое предположение могло бы означать, что при малых t (или, что то же, при больших плотностях материи) $\varkappa$ является возрастающей функцией времени (или убывающей функцией плотности). Такое предположение означало бы, что на малых расстояниях между гравитирующими частицами реализуется, как говорят, "асимптотическая свобода" гравитационных взаимодействий. Рассмотренный ранее вариант модификации уравнений Эйнштейна (20), (21) как раз реализует эту возможность.

Того же результата можно было бы достичь, если полагать $\varkappa = \text{const}$, но масса вселенной M_0 возникает не мгновенно, а рождается в течение какого-то начального времени t, в течение которого она достигает своего максимального значения M_0.

Существенно подчеркнуть, что обе эти возможности в той или иной форме обсуждаются в современных попытках описаний очень ранней вселенной.

Выше рассмотренный случай (5), когда параметр Λ' вводится как новая произвольная константа (Λ-образный вакуумный член появляется не в результате только асимптотической свободы, т.е. θ не определяется численно только зависимостью $\varkappa(\varepsilon)$), представляет собой пример реализации и второй возможности истолкования функций F и θ.

ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ ИЛЛЮСТРАТИВНОЙ МОДЕЛИ К РЕАЛИСТИЧЕСКОМУ СЦЕНАРИЮ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

В рассмотренных выше моделях, иллюстрирующих возможность непротиворечивых сценариев осциллирующих вселенных типа Фридмана–де Ситтера, все сценарии вселенных развивались в рамках строго классической теории. Классическими ультрамакроскопическими размерами обладали вселенные как во фридмановской фазе, так и в фазе де Ситтера. Но необходимость выбора физически осмысленного параметра для предельного значения плотности вещества, играющего фундаментальную роль мировой константы, однозначно привела нас к выражению для планковской плотности (ρ_{Pl}).

Согласно (10), выражение для предельной плотности (ρ_0) связано с минимальным радиусом осциллирующей вселенной соотношениями

$$a_{\min} = \sqrt{\tfrac{1}{2}\Lambda_0}; \qquad \Lambda_0 = \Lambda'\frac{8\pi}{3c^2}; \qquad \Lambda' = 2\rho_{Pl}.$$

Подставляя значение для $\rho_{Pl} = \dfrac{c^5}{\hbar\varkappa^2}$, получаем

$$a_{\min} = \left(\frac{8\pi}{3}\right)^{1/2}\left(\frac{\hbar\varkappa}{c^3}\right)^{1/2} \sim l_{Pl}. \tag{30}$$

В данном случае при остановке коллапса, или, что то же, в состоянии ранней вселенной, вселенная должна иметь планковские размеры со всеми вытекающими отсюда трудностями – необходимостью квантового рассмотрения теперь уже микровселенной.

Предыдущие иллюстрации классических моделей дают полезные представления о характере изменений в коллапсе вселенной с увеличением предельного значения плотности (ρ_0). Как показывает, например, классический вариант модели, именно случай (5), максимальное значение плотности $\rho_{\max}$, достигаемое в процессе коллапса в этом варианте, меньше, чем принятое значение предельной плотности ρ_0. Но оно различно для различных вселенных с различным значением их "голой" массы M_0.

Согласно (13), максимальное значение плотности, достигаемой при коллапсе ($\rho_{\max}$) (при принятых в случае (5) параметрах, а именно ρ_0 – предельном $\sim 10^{21}$ г/см^3

и "голой" массой вселенной $\sim 10^{55}$ г), отличается от значения ρ_0 предельного величиной

$$\Delta\rho \sim \rho_0 \frac{m_0}{M_0}, \qquad \rho_{max} \cong \rho_0\left(1-\frac{m_0}{M_0}\right). \tag{31}$$

И только при $M_0 \to \infty$ ρ_{max} достигает точного значения ρ_0. Если осмелиться рассмотреть тот же вариант (5) при планковском значении предельной плотности ($\rho_0 = \rho_{Pl}$), то вместо (31) возникает выражение $m_0 = m_{Pl}$ и

$$\rho_{max} = \rho_{Pl}\left(1-\frac{m_{Pl}}{M_0}\right) \sim \rho_{Pl}(1-10^{-60}). \tag{32}$$

На основании последних полученных нами результатов можно сформулировать далеко идущую по своим следствиям теорему[7]:

"Для вселенных любых масс (любых M_0), намного больших масс Планка (m_{Pl}), в процессе коллапса максимальная плотность (ρ_{max}) с большой точностью достигает значения предельной плотности ρ_{Pl}. Или, что то же, остановка коллапса происходит на одном и том же значении минимального радиуса (в данном случае $a_{min} \sim l_{Pl}$) независимо от значения $M_0 \gg m_{Pl}$".

Отмеченная нами характерная черта рассматриваемого сценария не специфична для предельного значения ρ_0, равного планковской плотности, – она ярко выражена и в случае $\rho_0 \sim 10^{21}$ г/см^3, которая на 70 порядков меньше плотности Планка. В последнем случае остановка коллапса происходит на $a_{min} \sim 10^{-3}$ см для всех вселенных с массой $M_0 \gg m_0 \sim \rho_0 8a_{min}^3 \sim 10^{13}$г, когда, согласно (10) и (13),

$$a_{min} \sim 1/\sqrt{2\Lambda_0}\,; \qquad \Lambda_0 = \Lambda' \frac{3c^2}{8\pi\varkappa}; \qquad \Lambda' = 2\rho_{max} \sim 2\rho_0\left(1-\frac{m_0}{M_0}\right), \tag{33}$$

т.е. $a_{min} \sim 10^{-3}(1-m_0/M_0)$ или $a_{min} \sim 10^{-3}(1-10^{-42})$ см.

Для дальнейшего обсуждения очень существенно, что состояние вселенной в момент остановки коллапса (ρ_{max}, a_{min}) представляет собой в то же время характеристику начального состояния, которое полностью определяет последующую судьбу фазы расширения вселенной. В случае, когда $a_{min} \gg l_{Pl}$, $\rho_{max} \ll \rho_{Pl}$, сценарий полностью, во всех своих фазах находится в рамках классической теории и замена времени t на $-t$ повторяет (в простом случае $p = 0$) в обратном порядке весь процесс коллапса. Но в случае $\rho_0 \sim \rho_{Pl}$ и размера вселенной порядка планковских размеров возникает специфика квантовой природы вселенной в ее ранней фазе

[7] По причинам, которые будут ясны из дальнейшего, эту теорему будем именовать как теорему о "воспроизводстве" (термин Уилера) вселенных.

антиколлапса. Квантовая специфика состояния такой вселенной в момент коллапса и возможное влияние ее на характер последующей фазы расширения вселенной в дальнейшем подвергнутся нами более детальному обсуждению в аспекте идей Уилера.

МЕСТО РАССМАТРИВАЕМОГО СЦЕНАРИЯ ВСЕЛЕННОЙ ФРИДМАНА–ДЕ СИТТЕРА СРЕДИ ДРУГИХ СЦЕНАРИЕВ ОЧЕНЬ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

За последние четыре-пять лет в печати появилось большое количество работ, посвященных проблемам очень ранней вселенной. Многие из них объединяются общим названием "раздувающиеся вселенные". Общим для всех этих сценариев является возникновение в какой-то ранний начальный момент развития вселенной де-ситтерообразной фазы, переходящей в фазу типа фридмановской вселенной.

А. Рассматриваемые нами варианты вселенной Фридмана–де Ситтера после остановки коллапса находятся в фазе раздувающейся вселенной.

Б. Но в отличие от всех других вариантов раздувающихся вселенных продолжительность де-ситтеровской фазы классической вселенной определяется значением "голой" массы во фридмановской фазе вселенной.

В. В других вариантах раздувающихся вселенных обычно с самого начала выбираются такие условия, которые обеспечивали бы возникновение во фридмановской фазе вселенной с параметрами, близкими к параметрам нашей Вселенной. Если бы такие условия обладали свойствами единственности, то это бы означало, что вселенная может быть в образе и подобии только нашей Вселенной.

Г. Принципиальная возможность образования "дочерних" вселенных, о которых шла речь выше, опровергает подобную точку зрения и предполагает возможное существование различных вселенных с различными размерами и массами.

Варианты ранних вселенных рассматриваются обычно при условии, что гравитационные поля в начальный момент истории вселенной ограничены до такой степени, что их квантовыми эффектами можно пренебречь. Гравитационные поля в этом случае классические, не подлежат квантованию. Квантуется материальное поле в так называемом однопетлевом приближении. Ограничение величины кривизны формулируется неравенством

$$R_{\mu\nu\lambda\delta}R^{\mu\nu\lambda\delta} < 1/l_{\rm Pl}^4. \tag{34}$$

Д. Если проанализировать предлагаемое нами условие на ограничение максимальной плотности

$$\rho_0 < \rho_{\rm Pl}, \tag{35}$$

и правую, и левую части неравенства (35) помножить на константу $\varkappa/c^4$, то возникающее неравенство

$$\frac{\varkappa^2\rho_0^2}{c^4} < \frac{c^6}{\hbar^2\varkappa^2} = 1/l_{\rm Pl}^4 \tag{36}$$

совпадает по своему выражению и смыслу с ограничением (34). Но в нашем случае это ограничение является не просто ограничением, оправдывающим ограничение однопетлевого приближения, а выражением строгого и универсального закона природы. Очень соблазнительными выглядят попытки связать существенные черты очень ранней вселенной с суперсимметричными теориями "Великого Объединения" и в конечном счете с супергравитацией. Но эти теории еще недостаточно совершенны и часто вносят новые существенные черты в характеристику очень ранней вселенной как со своими новыми интересными возможностями, так иногда и с новыми космологическими трудностями. Такого рода проблемы включены в обзоре А. Линде в число обсуждаемых им двенадцати проблем. Есть основания полагать, что часть этих проблем связана с несовершенством используемых теорий (например, проблема доменных стенок) или найдет свое возможное решение в рамках совсем других физических представлений.

ОЧЕНЬ РАННЯЯ ВСЕЛЕННАЯ, ВСЕЛЕННАЯ В МОМЕНТ ОТСКОКА (при $\rho = \rho_{max}$)

Когда говорят об очень ранней вселенной, то имеют в виду вселенную при $t > t_{Pl} \sim 10^{-43}$. При $t < t_{Pl}$ вселенные, о которых обычно идет речь, должны иметь размеры меньше длины Планка. Это ограничение объясняется лишь тем, что область столь малых размеров и больших плотностей материи находится вне рамок современных теорий. В наших вариантах осциллирующих вселенных Фридмана–де Ситтера фундаментальное значение имеет теорема, о которой шла речь выше. Согласно этой теореме, при любом значении внутренней массы вселенной в ее фридмановской фазе вселенная в состоянии остановки коллапса имеет практически одни и те же размеры $l \sim l_{Pl}$. Поскольку в закрытом мире движение материи ограничено размерами мира, то энергетический спектр частиц (например, пыли), заполняющих вселенную, по необходимости дискретен. Соответствующее уравнение Уилера–Де-Витта, решаемое в приближении *WKB*, дает характерный вид такого спектра. Для мини-вселенной Фридмана, заполненной пылью, приближенное решение дано в работе Мальцева и автора [31]. Как показывают и численные (машинные) данные, этот энергетический спектр мини-вселенной Фридмана с большой точностью дается выражением

$$E_n = E_0(2n \div 1)^{1/2}, \quad n = 0,\ 1,\ 2, \ldots, \tag{37}$$

где

$$E_0 = \left(3\pi^3 \frac{\hbar c}{\varkappa}\right)^{1/2}. \tag{38}$$

Таким образом, квантовая вселенная не может иметь размеры меньше планковских. И наинизшее значение энергии (массы) вселенной должно быть планковским. Обсуждаемая нами вселенная Фридмана–де Ситтера в состоянии, близком к остановке коллапса, характеризуется как раз планковскими размерами. Этот случай

при специфической зависимости гравитационной константы от плотности типа той, которая рассмотрена в [37], также исследовался Мальцевым. Поскольку и в этом случае вселенная закрытая и движение материи финитно, энергетический спектр хотя и отличается от чисто фридмановского, но остается дискретным. Квантование по Уилеру–Де-Витту в случае мини-вселенной учитывает в финитном движении материи и ее нулевые колебания, которыми существенным образом определяется наинизшее состояние вселенной. Квантовые вакуумные поправки, о которых шла речь еще в пионерской работе В.Л. Гинзбурга, А.Д. Киржница, А.А. Любушина [1] "О роли квантовых флуктуаций гравитационного поля в общей теории относительности и космологии", не учитываются в уравнениях Уилера–Де-Витта, использованных в работе [31]. Эти поправки в какой-то степени модифицируют дискретный энергетический спектр мини-вселенных Фридмана–де Ситтера. Следует подчеркнуть, что рассматриваемая нами вселенная Фридмана–де Ситтера в момент, близкий к остановке коллапса, в рамках уравнения Уилера–Де-Витта, по существу, представляет собой образ начального состояния вселенной или, по терминологии Хартля–Хокинга, основные состояния волновой функции вселенной [22].

"ЗА ГРАНИЦЕЙ ВРЕМЕНИ"

Пусть мы осмелились описывать в рамках классической физики и случай планковского значения $\rho_{\max}$. Мы начнем описание очень ранней вселенной непосредственно после остановки коллапса. Для того чтобы во фридмановской фазе получить вселенную с массой порядка нашей Вселенной, мы должны в начальных условиях, согласно (13), задать плотность $\rho_{\max}$ точно в виде

$$\rho_{\max} = \rho_{\text{Pl}}\left(1 - \frac{m_{\text{Pl}}}{M_0}\right). \tag{39}$$

Естественно полагать, что квантовые флуктуации плотности способны существенно нарушить столь малое отличие $\rho_{\max}$ от предельной планковской плотности. Со значением плотности $\rho_{\max}$ в момент классического отскока однозначно связан радиус вселенной в момент $a_{\max}$. Уилер оценивал изменение радиуса нашей Вселенной в момент максимального расширения ($R_{\max} \sim 10^{28}$ см) [41]. Среднее отклонение от классического радиуса вселенной R_0:

$$R = R_0 + l_{\text{Pl}}^{4/3}/(24\pi)^{2/3} R_0^{1/3} = R_0 + \Delta R; \qquad \Delta R \sim 10^{-55}\,\text{см}.$$

Квантование по Уилеру–Де-Витту мини-вселенной Фридмана для наинизшего состояния планковских размеров приводит к величине, сравнимой с размерами мини-вселенной. Отклонения от ожидаемого классического радиуса лежат в пределах Δl_{Pl} [31]:

$$l = l_{\text{Pl}} + \Delta l_{\text{Pl}},$$

где $\Delta l_{\text{Pl}} \sim 0,4 l_{\text{Pl}}$, l – радиус мини-вселенной в ее наинизшем энергетическом состоянии: $n = 0$.

Квантовая неопределенность в размерах мини-вселенной планковских размеров $\left(\frac{\Delta a_{\min}}{a_{\min}} \sim 1\right)$ может интерпретироваться как квантовая неопределенность радиуса отскока. С размерами $a_{\min}$ в классическом описании жестко связаны значение массы вселенной в момент максимального расширения и, следовательно, проблема (численное значение) энтропии. Пока из всего предыдущего ясно одно: классическая жесткая связь между радиусом отскока и массой вселенной во фридмановской фазе в предложенных нами моделях нарушается квантованием по Уилеру–Де-Витту. Этим соображениям можно придать более строгое содержание. Здесь мы снова возвращаемся к идеям Уилера. "Зададим 3-геометрию и скорость ее изменения во времени. Обычно этого достаточно, чтобы установить всю временну́ю эволюцию геометрии, другими словами, этого достаточно, чтобы определить полную четырехмерную геометрию пространства–времени при условии, что рассмотрение проблемы проводится в рамках классической физики. Однако в реальном мире, подчиняющемся квантовой физике, нельзя задать одновременно и динамические переменные, и их скорости изменения во времени. Это запрещено принципом дополнительности. Точно задав 3-геометрию в какой-то один момент, мы ничего не можем знать о скорости ее изменения со временем в данный момент. Другими словами, задав полевую геометродинамическую координату, мы не можем ничего знать о полевом геометродинамическом импульсе. Если мы определили внутреннюю 3-геометрию, то определить также внешнюю кривизну мы не можем. Таким образом, принцип неопределенности не позволяет нам как-то предсказать или хотя бы придать разумный смысл детерминированной классической истории пространства, эволюционирующего во времени" [38, с. 444].

Согласно физическим содержаниям уравнений гравитации, процесс коллапса в классическом описании представляет собой процесс превращения начальной 3-геометрии ($3G$) в какую-то конечную 3-геометрию. Связь между двумя соседними 3-геометриями осуществляется так называемой внешней кривизной. В этом описании ($3G$) представляют собой аналоги координат классической механики частиц, а внешняя кривизна представляет собой аналог импульса, канонически сопряженного с координатой. Процесс коллапса развивается в суперпространстве 3-геометрий. При квантовом рассмотрении 3-геометрия отскока не коммутирует с величиной внешней кривизны, с "геометродинамическим импульсом". Таким образом, зная точно геометродинамический импульс, мы теряем знание канонически сопряженной с ним 3-геометрии. В простом случае однородных и изотропных вселенных, например вселенной Фридмана или вселенной де Ситтера, выражение для внешней кривизны содержит производную по собственному времени от масштабного фактора (радиуса вселенной), т.е. da/dt[8].

В классическом случае место отскока при коллапсе определяется равенством нулю именно $\dot{a}$. Как это следует из классической картины коллапса, в пред-

---

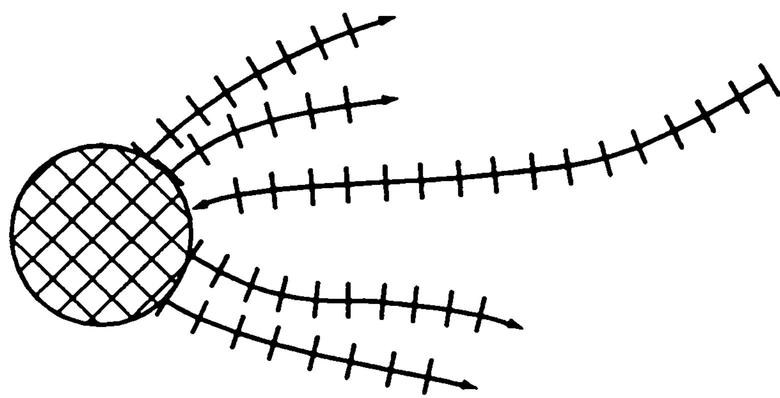
[8] Тензор внешней кривизны $K = -\frac{1}{2N}\frac{1}{a^2}\frac{da^2}{dt}I$, где N – функция хода. Выражение для тензора K для простоты написано Уилером при пренебрежении вектором сдвига N^i [38, с. 196].

ложенном нами формализме характер развития вселенной после отскока содержится в начальных условиях. Именно место отскока "помнит", какой максимальный радиус (или в случае $p = 0$ полная масса) характеризовал вселенную до ее коллапса. Другими словами, лишь размеры вселенной в момент отскока определяют максимальный радиус этой вселенной в момент ее максимального расширения. Как мы видели выше, все коллапсирующие вселенные, т.е. все замкнутые вселенные с любыми максимальными радиусами, в момент отскока превращаются в мини-вселенные малых масс и малых размеров. В случае предельной плотности $\rho_{Pl} = c^5 / \hbar\varkappa^2 \sim 10^{94}$ г/см^3 размеры всех вселенных в момент отскока ($\dot{a} = 0$) должны лишь в пределах планковской длины превосходить микровселенную, радиус которой равен точно длине Планка, т.е. $a_{min} = l_{Pl} + \Delta l_{Pl}$. Согласно формулам (32) и (33), в процессе коллапса точно планковских размеров достигают вселенные, обладавшие в прошлом $a_{max} = \infty$ (или $M_0 = \infty$). Радиусы всех других вселенных с $M_0 > m_{Pl}$ в состоянии отскока (a_{min}) имеют величины где-то между l_{Pl} и $l_{Pl} + \Delta l_{Pl}$, причем $\Delta l \sim l_{Pl}(m_{Pl} / M_0)$. Другими словами, если в процессе коллапса вселенная достигла состояния "отскока", то место этого отскока (a_{min}) не может быть строго известно. Или, что то же самое, характер вселенной после отскока (говоря словами Уилера, "воспроизводство" вселенной) после коллапса недетерминирован.

Рассматриваемый нами сценарий коллапсирующей вселенной Фридмана–де Ситтера и "воспроизводство" (термин Уилера) после коллапса новой вселенной близки по своему духу модели "черного ящика" Уилера. В той же книге [38] в той же статье Уилера "За границей времени" содержится § 44.6 "Черный ящик: воспроизводство вселенной".

ВОСПРОИЗВОДСТВО ВСЕЛЕННОЙ

Модель "черного ящика" применяется: 1) к рассеянию электрона на центре притяжения; 2) к коллапсу самой вселенной. Вполне определенная в классической теории мировая линия электрона в квантовой теории заменяется амплитудой вероятности, гребни волн которой схематически изображены на рисунке. Вместо неопределенности в классической теории в квантовой теории мы имеем распределение вероятностей исходов. Рисунок иллюстрирует модель "черного ящика" в случае гравитационного коллапса. При этом ареной служит уже не пространство–время, а суперпространство. Длинная стрелка теперь обозначает не классическую мировую линию электрона в пространстве–времени, а относится к классическому "листу истории геометрии", рассекающему суперпространство. Гребни волн не символизируют более волновую функцию электрона, движущегося в пространстве–времени, они изображают геометродинамическую волновую функцию, распространяющуюся в суперпространстве. Заштрихованная область уже не является областью обращения в бесконечность одночастич-



ного потенциала, теперь это область гравитационного коллапса, где кривизна пространства стремится к бесконечности. Выходящие волны описывают не различные направления рассеянного электрона, теперь они обозначают начала новых историй самой вселенной после коллапса и "воспроизводство" в конце рассматриваемого цикла [38, с. 483].

Состояние, в котором вселенная находится в последней фазе коллапса, Уилер называет состоянием "черного ящика". В ранних работах, развивших предлагаемый нами формализм, это состояние иногда называлось "чистилищем", имея в виду, что вселенная "воспроизводится" из этого состояния в каком-то другом, совершенно обновленном виде, в частности, может быть "очищена", например, от того "излишка" энтропии, который накопился за ее предыдущую историю. Возможность такого вероятностного воспроизводства вселенной комментируется Уилером таким образом: «Как бы мало ни знали мы о внутреннем механизме "черного ящика", нам с неизбежностью рисуется такая картина происходящего: в эпоху коллапса вселенная превращается, преобразуется, переходит или, наконец, воспроизводится вероятностным образом от одного цикла истории к другому».

"Хотя эта картина воспроизводства вселенной, казалось бы, следует из основных свойств общей теории относительности и из квантового принципа – двух важнейших принципов физики двадцатого столетия, тем не менее она представляется поистине фантастической. Как может динамика столь невообразимо гигантской системы переключаться, и переключаться по воле случая, с одного цикла, длившегося 10^{11} лет, на другой цикл, который будет длиться только 10^6 лет? Сначала лишь то обстоятельство, что система в ходе этой динамической эволюции сжимается до невероятно малых размеров, примиряет нас с таким превращением, в которое иначе было бы невозможно поверить" [38, с. 483].

Предложенный нами формализм для утверждения "веры", о которой говорит Уилер, содержит добавочные аргументы "малости". Малыми оказываются не только размеры, но и массы вселенных в состоянии отскока ("черном ящике"), а главное, в этом состоянии теряется различимость вселенных. Именно поэтому ту теорему, на которой основана эта неразличимость, мы выше назвали "теоремой воспроизводства". Но и здесь следует обратить внимание на ряд условий, которыми, видимо, ограничиваются обсуждаемые возможности "черного ящика". Если вселенная в процессе коллапса сохраняет свою полную массу, если в ее малых размерах увеличивается до бесконечности только плотность, то существующий своеобразный интеграл движения (полная масса вселенной, или, что то же, ее гравитационный радиус), видимо, не допустит возрождения вселенной с параметрами, отличными от параметров исходной вселенной. Поэтому уменьшение полной массы вселенной вместе с уменьшением ее размеров существенно для возможности реализации в процессе коллапса "черного ящика" со свойствами, допускающими воспроизводство вселенной с обновленными параметрами. Более того, то изменение в полной массе вселенной, которое обязано только возникновению асимптотической свободы при сохранении числа частиц, т.е. уравнению (27) $(nu^i)_{,i} = 0$, может также оказаться недостаточным для возможности воспроизводства вселенной с параметрами, отличными от исходных. По-видимому, только

сценарии типа (5) с нарушением закона сохранения частиц (произвольное Λ и $(nu^i)_{,i} \neq 0$) адекватны идеям "черного ящика" Уилера. Другая возможность связана с изменением интерпретации волновой функции квантовой теории в духе Эверетта. Другими словами, возникает вопрос: сохраняется ли здесь обычная копенгагенская интерпретация волновой функции, которая является решением соответствующего уравнения Уилера–Де-Витта. В копенгагенской интерпретации существенную роль играет классический наблюдатель, классический прибор наблюдения. То обстоятельство, что по отношению к закрытой вселенной нет классического наблюдателя (то же самое в любом варианте очень ранней вселенной), который фиксировал бы необходимые начальные условия, возникающие в данном конкретном случае остановки коллапса, представляет собой известное затруднение для копенгагенской интерпретации явления отскока. Отсутствие классического наблюдателя в квантовом описании закрытой вселенной как недостаток копенгагенской интерпретации квантовой теории многократно подчеркивалось в литературе, начиная с работ Эверетта, предложившего свое толкование квантовой теории. Для толкования ψ-функции при описании отскока у нас имеются две в математическом отношении равноправные, но при истолковании ψ-функции конкурирующие возможности.

I. Существует абсолютная случайность[9] ("God really dices"), и совершенно случайно мы оказались во вселенной с условиями, пригодными для возникновения жизни.

II. Вселенная в состоянии остановки коллапса представляет собой набор множества различных вселенных (Эверетт), и мы не по абсолютной случайности, а по случайности как она понимается в статистической механике, оказались во вселенной, в которой имелись условия для появления организованной материи.

"Воспроизводство" вселенной после коллапса в "обновленном" виде, в частности с меньшей энтропией (меньшим R_{max}), решает проблему неограниченности роста энтропии в закрытых вселенных. В рамках эвереттовской трактовки квантовой механики Де-Витт излагает конкретную возможность воспроизводства вселенной в таком состоянии, когда ее энтропия не возрастает, а, наоборот, убывает со временем. Эти соображения основаны на симметричности относительно времени функционала, описывающего вселенную [20]. Мы часто говорим, что у нас нет последовательной квантовой теории гравитации. Но можем ли утверждать, что мы пока не в состоянии описать квантовое состояние начальной вселенной, или, что то же самое, состояние коллапсирующей вселенной в конечной фазе ее коллапса, т.е. в состоянии отскока в ее возрождающемся состоянии? Разве в том на-

[9] Как подчеркивает Де-Витт [20], «квантовая теория (имеется в виду копенгагенская трактовка. – *М М*) описывает на математическом языке мир, в котором случай представляет собой не меру нашего незнания, как это имеет место в статистической механике, т.е. не "случайность как непознанную необходимость", а абсолютную случайность» [20]. Из опыта дискуссий по проблемам толкований квантовой теории следует, что толкование Эверетта и его сторонников (одновременное существование множества вселенных) с трудом находит себе сторонников ввиду его большой необычности. Но примириться с существованием не менее необычной возможности, такой, как возможность абсолютного случая, столь отличного от понятия случая в статистической механике, помогает только привычка не обращать внимание на то, что под одним и тем же термином "случай" скрывается фундаментально разное содержание.

глядном рисунке, которым Уилер иллюстрирует аналогию в рассеянии электрона на центре притяжения и воспроизводства вселенной в процессе коллапса, чего-то не хватает для исчерпывающего описания этих аналогий? Единичный акт коллапса и воспроизводства вселенной так же, как единичный акт падения электрона на центр притяжения и его рассеяние на неопределенный угол, одинаковым образом не детерминированы.

Мы вправе полагать, что никакая будущая теория не может объяснить, почему в единичном акте рассеяния электрона он рассеялся на данный определенный угол. По аналогии также, видимо, незаконен вопрос, почему в последней стадии коллапса ("черного ящика") возникает вселенная, отличная от первоначальной. Но в отличие от ситуации с электроном в случае коллапса законен вопрос: в каком виде материя возникает в процессе превращения вакуумоподобной энергии в энергию вселенной Фридмана. Можно полагать, что этот вопрос подобен вопросу: в каком виде материя мира Фридмана превращается в процессе коллапса в вакуумоподобную материю мира де Ситтера. Совершенно очевидно, что в конечной стадии коллапса материя содержит все ее разнообразные формы. Видимо, в этих экстремальных условиях рождаются все виды так называемых элементарных частиц.

СОСТОЯНИЕ МАТЕРИИ В ДЕ-СИТТЕРООБРАЗНОЙ ФАЗЕ ВСЕЛЕННОЙ

При превращении материи вселенной Фридмана в Λ-образную форму материи вселенной де Ситтера все многообразие возникших форм материи – разнообразие частиц, возникающих в экстремальных условиях почти планковской плотности, должно как-то исчезать в однообразной форме Λ-подобной среды. В настоящее время задачей многих физиков-теоретиков является построение в рамках теории групп такого сверхмультиплета элементарных частиц, который органическим образом содержал бы все многообразие элементарных частиц, существующих в природе. Пусть в результате случая все частицы такого мультиплета оказались локализованы в малой области именно под своей общей сферой Шварцшильда. Для внешнего наблюдателя возникает объект, который представляет собой черную дыру. В этом случае все различия физических свойств элементов мультиплета захороняются в "братской могиле" черной дыры. И опять Уилер: "Черные дыры не имеют волос". В этом случае в сопутствующей системе координат материя характеризуется ее плотностью[10].

Таким образом, возникает идея, обладающая некоторой привлекательностью: предполагать, что и первичная форма материи, возникающая из распада (превращения) ее вакуумной формы, представляет собой элементарные (планковских размеров) черные дыры. Испарение элементарных черных дыр должно вести к появлению всех компонентов сверхмультиплетов частиц, к образованию явления Big Bang'а со всеми вытекающими отсюда последствиями горячей фазы вселенной.

---

[10] Этого преобразования в элементарные черные дыры не должны избежать и гравитационные волны, в том числе реликтовые и гравитационные возмущения вообще. В противном случае они одни образуют сингулярные состояния.

Другими словами, распадом планковской массы мог бы ограничиваться набор всех элементарных частиц. В известных вариантах ранней вселенной вакуумоподобный член в уравнениях Эйнштейна берут в форме однородного и изотропного скалярного поля. Авторы рассматривают только превращение вселенных де Ситтера во вселенные Фридмана с "превращением" вакуумоподобного скалярного поля φ, т.е. с распадом соответствующего вакуума в обычную материю. Если бы ставилась обратная задача – превращение мира Фридмана в процессе коллапса в мир де Ситтера, то возникла бы проблема превращения разнообразной материи вселенной Фридмана в вакуумоподобную энергию скалярного поля. Кстати, в своем обзоре А. Линде пишет, что само поле φ вовсе не обязано быть элементарным скалярным полем. Это может быть составное поле типа фермионных (или векторных) пар $(\overline{\psi}\psi)$, $(\langle G_\mu^a G_\mu^a \rangle)$. Это может быть и хаотическое распределение тензора кривизны $R_{\alpha\beta\gamma\delta}$. Вообще говоря, отсюда лишь один шаг до таких обобщений, когда в обсуждаемое скалярное поле вносят свой вклад и все существующие поля. Представляется проще и вакуумоподобную энергию также связывать только с плотностью энергии, как это делается в предложенном нами формализме. Отдавая дань моде, в работе Муханова и автора [37] плотность энергии $T_{\mu\nu}$ выражена, например, через скалярное поле φ. В этом случае модифицированное уравнение Эйнштейна принимает вид

$$R_k^i - \frac{1}{2} R \delta_k^i = 3l^2 \left[\left(\varphi^{;i} \varphi_{;k} - \frac{1}{2} \delta_k^i \varphi^{;l} \varphi_{;l} \right) F\left(\frac{\varphi^2}{b^2} \right) + \frac{1}{2} \delta_k^i m^2 \varphi^2 \psi\left(\frac{\varphi^2}{b^2} \right) \right],$$

где $l = \left(\frac{8\pi G}{3} \right)^{1/2}$, $c = \hbar = 1$, b^2 играет роль предельного значения поля, при котором функция F обращается в нуль, а ψ – в единицу, аналогично функциям F, G, θ, Λ в рассмотренных выше сценариях (5) и (21). Еще ранее в [10] приводился вариант действия в виде

$$L = (-g)^{1/2} \left[g^{\alpha\beta} \frac{\partial \varphi^*}{\partial x^\alpha} \frac{\partial \varphi}{\partial x^\beta} - m^2 \varphi^* \varphi \right] \left(1 - \frac{m^2 \varphi^* \varphi}{b^2} \right) + \Lambda m^4 \frac{(\varphi^* \varphi)^2}{b^2},$$

который в соответствии со случаем (5) содержит произвольную константу b.

Из всех полей в нашем сценарии было использовано также только скалярное поле (φ). В последней работе [36] речь шла об описании поведения лишь очень ранней вселенной. Описание этой фазы вселенной Фридмана–де Ситтера очень близко к сценарию хаотически раздувающейся вселенной Линде. Вначале статья была нам возвращена редакцией с формулировкой рецензента о том, что она представляет собой лишь частный случай хаотически раздувающейся вселенной[11].

[11] Действительно, в статье описывался лишь начальный этап вселенной Фридмана–де Ситтера, т.е. не рассматривался предыдущий этап коллапса, но существенную роль по-прежнему играло предположение о существовании предельной плотности энергии, чего нет в сценариях Линде. Но, в сущности, в любой из инфляционных схем фактически постулируется конечное значение плотности вакуумоподобной энергии.

Если принять во внимание, что в рамках предлагаемого нами сценария может быть использовано любое поле и что не является обоснованным выделение из всех полей какого-то определенного поля, то, вообще говоря, законна лишь теория, учитывающая существование всех возможных полей, образующих суммарный тензор T_{ik}. Следовательно, использование понятия плотности энергии ε и предельного значения плотности ε_0 в приведенных сценариях, пожалуй, представляет собой описание ситуации, не так уж далекой от той, которая, возможно, реализуется в действительности.

В связи с возможной большой ролью элементарных (планковских) черных дыр в истории Вселенной представляется целесообразным упомянуть о некоторых проблемах в описании физических свойств этих объектов.

ПРИРОДА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР ("максимонов")

Понимание природы элементарных черных дыр планковских размеров в рамках существующих возможностей теоретического описания этих объектов практически встречается с теми же самыми трудностями, которые возникают при описании наинизшего состояния вселенной.

Более того, макроскопическая черная дыра распадается в результате хокинговского излучения. В процессе этого излучения при стремлении массы черной дыры к массе Планка следует ожидать существенного изменения в спектре хокинговского излучения. Дело в том, что движение материи под сферой Шварцшильда финитно, что должно привести к дискретному энергетическому спектру, который должен существенным образом проявиться в хокинговском излучении малой черной дыры. Изменения в спектре хокинговского излучения, о котором идет речь, пока не исследованы даже приближенно.

Описание малых черных дыр в рамках уравнения Уилера–Де-Витта в рамках тех упрощений, которые сделаны Де-Виттом при описании вселенной Фридмана, приводит, как было сказано выше, к дискретному спектру черной дыры вида $E_n = E_0\sqrt{2n+1}$, $n = 0, 1...$ Из приведенной формулы следовало бы, что в конечном состоянии ($n = 0$) черная дыра имеет планковскую массу и, по-видимому, должна быть холодной, т.е. ее энергия, по-видимому, должна определяться только нулевыми колебаниями ее материи. Другими словами, возникают некоторые основания полагать стабильность конечного состояния черной дыры. С другой стороны, стабильность элементарных черных дыр приходит в противоречие с известными теоремами Хокинга [23]. Согласно этим теоремам, черные дыры, возникающие в материи замкнутого сосуда, когда-то должны обязательно исчезнуть. Необходимость такого состояния материи сосуда требует основной закон термодинамики.

Правда, слияние N возникших черных дыр ведет к излучению материи и исчезновению $(N - 1)$ черных дыр. Но состояние, в котором остается неисчезнувшей лишь одна элементарная черная дыра, должно непременно остаться. Хотя неясно, является ли принципиально наблюдаемым такое количественное нарушение закона термодинамики [35]. С другой стороны, интенсивное образование стабильных элементарных черных дыр (максимонов) в ранней вселенной противоречит астрофи-

зическим данным в эпоху нуклеосинтеза [26]. Другими словами, должен быть какой-то интенсивный процесс исчезновения элементарных черных дыр. Обсуждаемая ситуация принимает существенно иной вид для особого класса экстремальных черных дыр, когда их масса полностью определяется их электрическим зарядом или моментом количества движения.

Как известно, по Хокингу, черная дыра излучает как черное тело, нагретое до температуры

$$T = \frac{\varkappa\hbar}{2\pi kc},$$

где $\varkappa$ – поверхностная гравитация черной дыры, k – постоянная Больцмана

$$\varkappa = \frac{4\pi(r_+ - M)}{A}.$$

Здесь M – масса черной дыры и

$$r_+ = M + (M^2 - Q^2)^{1/2},$$

$$A = 4\pi((2M^2 - Q^2) + 2(M^4 - M^2Q^2)^{1/2}),$$

где Q – электрический заряд невращающейся черной дыры, $c = k = 1$. Если черная дыра излучает энергию так, что ее масса $M \to Q$, $r_+ \to M$, то $\varkappa \to 0$ и температура черной дыры $T \to 0$. В этом предельном случае ($T = 0$) излучение черной дыры как излучение черного тела прекращается. В этом случае оставшаяся масса черной дыры целиком является массой энергии ее электрического поля. Та же ситуация возникает для электрически нейтральной, но вращающейся черной дыры, если ее масса целиком обязана ее энергии вращения. Таким образом, речь идет о классе абсолютно холодных черных дыр, которые заведомо не могут терять свою энергию на хокинговское излучение. Более того, при заряде $Q \ll 137e$ такие экстремальные черные дыры не могут терять свою энергию на испускание заряженных частиц.

Следует подчеркнуть, что существование таких дыр в замкнутом сосуде, содержащем электрически нейтральную материю, не противоречит теоремам Хокинга. Возможно, что такие экстремальные черные дыры (максимоны) долгоживущи. В космологии имеется необходимость в присутствии какой-то материи, скрытой от визуальных наблюдений. Такой материей могли бы быть нейтрино, обладающие соответствующей массой покоя, отличной от нуля [31], и другие частицы, в частности обсуждаемый нами класс черных дыр ("максимонов") [33].

СИНГУЛЯРНОСТИ ПОЛЕЙ

Хотя на предыдущих страницах речь шла об описании вселенных, в частности заполненных скалярным полем (φ), уравнение для поля, получаемое из соответствующего лагранжиана, имеет свой интерес, независимый от описания вселенной. Уравнение поля содержит масштабный фактор вселенной. В евклидовом пространстве масштабный фактор не должен присутствовать в уравнении. Но как

только речь зайдет о сингулярностях источника поля, в этом случае следует принимать во внимание возникновение всех видов частиц в этом сильном поле и возникновение соответствующей кривизны 3-пространства. Предположение о существовании предельной плотности должно в принципе обеспечить отсутствие сингулярности полей.

Конечно, можно ожидать, что многие или почти все расходимости, возможно, будут взаимно компенсироваться в будущей теории материи, но, возможно, одна из них, именно связанная с гравитацией, может потребовать формализм типа нашего формализма, чтобы сделать конечной оставшуюся расходимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гинзбург В.Л., Киржниц А.Д., Любушин А.А.* // ЖЭТФ. 1976. Т. 60. С. 451.
2. *Глинер Э.Б.* // Там же. 1965. Т. 49. С. 543.
3. *Глинер Э.Б.* // Докл. АН СССР. 1970. Т. 102. С. 771.
4. *Зельдович Я.Б.* // Успехи физ. наук. 1977. Т. 123. С. 487.
5. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975. С. 735.
6. *Киржниц А.Д.* // Письма в ЖЭТФ. 1972. Т. 15. С. 529.
7. *Линде А.Д.* // Там же. 1983. Т. 38. С. 149.
8. *Линде А.Д.* // Успехи физ. наук. 1984. Т. 144. С. 177.
9. *Мамаев С.Г., Мостепаненко В.М.* // ЖЭТФ. 1980. Т. 78. С. 20.
10. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 214.
11. *Мостепаненко В.М.* // Ядер. физика. 1980. Т. 31. С. 1690.
12. *Рожанский И.Д.* Анаксагор. М.: Мысль, 1983. С. 485.
13. *Старобинский А.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 30. С. 719.
14. *Толмен Р.* Относительность, термодинамика и космология. М.: Наука, 1974. 502 с.
15. *Фок В.А.* Теория пространства, времени и тяготения. М.: Гостехиздат, 1955. С. 504.
16. *Хокинг С., Эллис Дж.* Крупномасштабная структура пространства–времени. М.: Мир, 1977. С. 432.
17. *Albrecht A., Steinhardt P.J.* // Phys. Rev. Lett. 1982. Vol. 48. P. 1220.
18. *Aman E.G., Markov M.A.* Preprint P-0290/INR. Moscow, 1983. P. 25.
19. *Bondi H., Gold T.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1948. Vol. 108. P. 252.
20. *DeWitt B.* // Phys. Rev. 1967. Vol. 160. P. 1140.
21. *Guth A.H.* // Phys. Rev. D. 1981. Vol. 23. P. 347.
22. *Hartle J.B., Hawking S.W.* // Ibid. 1983. Vol. 28. P. 2960.
23. *Hawking S.W.* // Ibid. 1976. Vol. 14. P. 2460.
24. *Hayakawa S.* // Progr. Theor. Phys. 1959. Vol. 21. P. 324.
25. *Hoyle F., Narlikar J.* // Proc. Roy. Soc. London A. 1964. Vol. 282. P. 191.
26. *Khlopov M.Yu., Polnarev A.G.* // Phys. Lett. B. 1981. Vol. 106. P. 307.
27. *Klein O.* Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit. Braunschweig: Vieweg, 1961. S. 345.
28. *Linde A.D.* // Phys. Lett. B. 1982. Vol. 108. P. 389.
29. *Linde A.D.* // Ibid. 1983. Vol. 129. P. 177.
30. *Linde A.D.* // Rep. Progr. Phys. B. 1984. Vol. 47. P. 925.

31. *Maltsev V.K., Markov M.A.* Quantum closed Friedman miniworld quantum black mini-holes. Moscow, 1980. (Prept./INR; P-0160).

32. *Markov M.A.* // Phys. Lett. 1964. Vol. 10. P. 122.

33. *Markov M.A.* // Progr. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa.

34. *Markov M.A.* // Gravitational radiation and gravitational collapse. Dordrecth; Boston: Reidel, 1974. P. 106.

35. *Markov M.A.* // Quantum gravity. N.Y.: Plenum press, 1985. P. 1.

36. *Markov M.A., Mukhanov V.F.* Preptint P-0351/INR. Moscow. 1981.

37. *Markov M.A., Mukhanov V.F.* // Nuovo cim. B. 1985. Vol. 86. P. 97.

38. *Misner Ch., Thorne K., Wheeler J.A.* Gravitation. San Francisco: Freeman,1973. P. 1279.

39. *Pirani F.A.E.* // Proc. Roy. Soc. London A. 1955. Vol. 228. P. 455.

40. *Tolman R.C.* Relativity, thermodynamics and cosmology. Oxford: Clarendon press, 1969. P. 305.

41. *Wheeler J.A.* // Relativity, groups and topologies. N.Y.: Les Houches Lecture, 1964. P. 462.

СУЩЕСТВУЮТ ЛИ АБСОЛЮТНО ЗАКРЫТЫЕ ВСЕЛЕННЫЕ?*

Как известно, закрытая изотропная вселенная расширяется до максимального радиуса [3]:

$$R_{max} = 2\varkappa M / 3\pi c^2, \tag{1}$$

где $\varkappa$ – гравитационная постоянная, c – скорость света, M – "голая" масса вселенной. В простом случае масса M равна сумме масс пылинок, обладающих массой η:

$$M = N\eta,$$

где N – число пылинок в данной вселенной. После достижения максимального радиуса радиус закрытой классической вселенной неограниченно уменьшается.

Пусть минимальная длина в пространстве не может быть меньше некоторой длины l_{min}. Если это обстоятельство означает, что радиус вселенной может быть определен только *с точностью* l_{min}, то, следовательно, радиус вселенной массы M может быть определен величиной[1]

$$R = R_{max} + l_{min}. \tag{2}$$

Классический объем вселенной дается выражением [2, 3]

$$V_0 = 2\pi^2 R_{max}^3. \tag{3}$$

---

* Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45, вып. 2. С. 61–64.

[1] Знак "+" в (2) и (4) выбирается из условия положительной полной энергии вселенной $m_{tot} > 0$.

Неточность в определении радиуса $R_{\max}$ приводит к неточности определения объема:

$$\Delta V = 2\pi^2[(R_{\max} + l_{\min})^3 - R_{\max}^3]. \qquad (4)$$

Если $l_{\min} \ll R_{\max}$, то

$$\Delta V \sim 6\pi^2 R_{\max}^2 l_{\min}. \qquad (5)$$

С другой стороны, средняя плотность

$$\rho_0 = \frac{M}{V_0} = \frac{M}{2\pi^2 R_{\max}^3} = \frac{M}{2\pi^2\left(\frac{2}{3}\frac{M\varkappa}{\pi c^2}\right)^3} \qquad (6)$$

при малых $l_{\min}$ практически остается без изменения (при $l_{\min} \ll R_{\max}$). Выражение для массы, заключенной в этом "шаровом слое":

$$\Delta m = \Delta V \rho_0 = \frac{9\pi c^2}{2\varkappa} l_{\min}. \qquad (7)$$

Если $l_{\min}$ считать порядка длины Планка [[8]

$$l_{\min} \sim \sqrt{\hbar\varkappa / c^3} \sim 10^{-33}\text{см}, \qquad (8)$$

то оказывается, что

$$\Delta m \sim \frac{9\pi}{2}\sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa}}. \qquad (9)$$

Полученный результат имеет общность фундаментальной теоремы в том смысле, что величина Δm представляет собой универсальное значение совершенно независимо от значения "голой" массы M вселенной. Основная характеристика замкнутой вселенной (величина M), как это видно из оценок, выпадает из полученного выражения для Δm.

Если обсуждаемое значение Δm имеет смысл той величины, которой "не хватает" вселенной, чтобы оказаться абсолютно закрытой, то *любая* классически закрытая вселенная в условиях существования элементарной длины должна для внешнего наблюдателя выглядеть частицей с массой $\sim\sqrt{\hbar c / \varkappa}$ и размерами $l_{\min} \sim \sqrt{\hbar\varkappa / c^3} \sim 10^{-33}$ см. Обсуждаемую ситуацию закрытой вселенной в условиях существования элементарной длины можно подробнее иллюстрировать следующим образом. Как известно, характерное свойство закрытой вселенной заключается в том, что полная масса вселенной оказывается точно равна нулю в любой момент расширения и сжатия закрытой вселенной, нулю оказывается равным также полный электрический заряд и "спин" закрытой вселенной. В простом случае пылевидной вселенной гравитационный дефект масс равен точно $M = N\eta$ с обратным знаком, когда все ее пылинки находятся в покое.

Но если неточность в R_{max} принципиально не дает возможности гравитационным дефектам масс сравняться с заданной "голой" массой частиц, то вселенная не может быть полностью закрытой. Полная масса части классической закрытой вселенной в момент максимального расширения дается выражением [2]

$$m_{tot} = \frac{4}{3}\pi\rho_0 R_{max}^3 \sin^3\chi, \tag{10}$$

где χ меняется от 0 до π. При $\chi = \pi$ полная масса вселенной стремится к нулю. Поверхность "части" замкнутого мира выражается формулой [2]

$$S = 4\pi R_{max}^2 \sin^2\chi. \tag{11}$$

Поверхность стремится к нулю также при $\chi \to \pi$. В случае, если Δm – это то предельное значение для полной массы вселенной, меньше которого оно не может быть, то

$$\Delta m_{tot} = m_{min} \sim \sqrt{\hbar c/\varkappa} = 4\pi R_{max}^3 \sin^3\chi_0$$

определяет предельное значение $\pi - \Delta\chi_{min} = \chi_0$. Это $\Delta\chi$ определяет также отклонение от нуля и поверхности классического замкнутого мира (11) любой массы M, т.е. для любой классической закрытой вселенной.

Выше речь шла об объектах, которые являются предельными случаями миров, на возможность существования которых впервые было указано О. Клейном [6]. Они получили название "полузамкнутых миров" [2]. Давно было обращено внимание на то, что если в закрытую вселенную "вложить" один единственный электрон (или нейтрино), то вселенная обязана разомкнуться, она получает (в случае электрона) вовне рейсснер-нордстремовское продолжение. В этом случае вселенная любых внутренних размеров во внешнем пространстве должна наблюдаться как электрически заряженная частица примерно планковских размеров и масс. Такая возможность может иметь отношение и к нашей Вселенной, если ее средняя плотность материи достигает критического значения $\rho_{crit} \sim 10^{-29}$ г/см^3. Обсуждаемые пространственно полузамкнутые объекты по многим своим свойствам аналогичны черным дырам, они даже названы "черными дырами второго рода" [7]. Излучение электрически заряженного объекта типа черной дыры было рассмотрено еще в 1970 г. [4]. Было показано, что заряженная черная дыра обязана излучить свой заряд во внешнее пространство, уменьшив его по крайней мере до $Q \sim 137e$, что означало бы соответствующее уменьшение массы черной дыры. Но впоследствии стала широко обсуждаться известная теорема Хокинга, согласно которой масса черной дыры может только увеличиваться. Универсальность теоремы Хокинга поставила авторов работы [4] в очень затруднительное положение. Выход из затруднения указан на Варшавской гравитационной конференции в докладе автора [7], в котором было высказано соображение о том, что теорема Хокинга нарушается в квантовой области и интерпретировался результат работы [4] эффектом рождения электронно-позитронных пар в кулоновском поле черной дыры, после чего одна из компонент пары уходит на бесконечность, уменьшая

массу черной дыры. Вскоре (1974 г.) Хокингом был сформулирован в общем случае характер излучения черных дыр.

Но формулы хокинговского излучения справедливы для макроскопических черных дыр. При массах черных дыр, близких к массе Планка (например, $m = nm_{\rm Pl}$, где $n \sim 1$) характер хокинговского излучения черной дыры должен существенно деформироваться, в частности спектр излучения становится дискретным. Вопрос о конечном состоянии обычной черной дыры (черной дыры первого рода) в рамках теории хокинговского излучения остается открытым.

Остается нерешенным вопрос, излучается ли черная дыра полностью или, на что также имеются основания, что масса конечного состояния черной дыры не исчезает, а равна массе максимона [10]. Конечное состояние черной дыры второго рода (полузамкнутый мир) должно существенно отличаться от конечного состояния обычной черной дыры. Обычная черная дыра может в процессе излучения распадаться полностью – для этого, во всяком случае, нет формального запрета. Черная дыра второго рода ("серая" дыра в терминологии Зельдовича–Новикова [2]) даже при полном излучении должна оставаться существовать в виде замкнутой вселенной в принципе каких угодно макроскопических размеров.

Обращает на себя внимание, что предыдущие соображения ведут к утверждению, что конечное состояние черной дыры второго рода должно быть *стабильно* и иметь массу порядка массы максимона со всеми отсюда вытекающими возможными астрофизическими следствиями: наличие максимонов могло бы играть роль "невидимого вещества", которого, как считается, "не хватает" астрофизике. Стабильные максимоны могли бы объединяться в нестабильные долгоживущие минимаксимонные образования (максидейтерий, макситритий и т.д.), максимонные звездные объекты ("максимонные рои") [10]. Распад минимаксимонных систем мог бы определять и верхнюю энергию нейтринного спектра космических лучей и т.д. [9]. Существенно подчеркнуть, что дыра второго рода не может возникать в результате простого коллапса звезд. Астрофизические трудности наличия относительно большого количества максимонов [5], если они здесь возникнут, общие для существования стабильных тяжелых частиц – монополей и др., в инфляционном варианте вселенной могли бы найти решение проблемы в общем случае. Если можно убедиться в том, что обсуждаемые стабильные максимоны отсутствуют, то в случае справедливости предыдущих соображений это означало бы и отсутствие в природе фундаментальной длины $l_{\rm min}$. Предыдущие замечания относятся и к длинам $l_{\rm min} \geqslant l_{\rm Pl}$ [1] уже в рамках применимости современной квантовой теории.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гинзбург В.Л., Фролов В.П.* // Письма в "Астрон. журн." 1976. Т. 2. С. 514.
2. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975. С. 136.
3. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля. М.: Наука, 1973.
4. *Марков М.А., Фролов В.П.* // ТМФ. 1970. Т. 3. С. 41.
5. *Полнарев А.Г., Хлопов М.Ю.* // Успехи физ. наук. 1985. Т. 145. С. 369.
6. *Klein O.* Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit. Braunschweig: Vieweg, 1961.

7. *Markov M.A.* // Gravitational radiations and gravitational collapse. Dordrecht; Boston: Reidel, 1974.
8. *Markov M.A.* Preprint P-0187/INR. Moscow, 1980.
9. *Markov M.A.* Preprint P-0207/INR. Moscow, 1981.
10. *Markov M.A.* Preprint P-0197/INR. Moscow, 1981.
11. *Markov M.A., Maltsev V.* Preprint P-160/INR. Moscow. 1980.

О ВОЗМОЖНОМ СОСТОЯНИИ ВЕЩЕСТВА НА ПРЕДПОСЛЕДНЕЙ СТАДИИ КОЛЛАПСА*

Некоторое время назад была высказана гипотеза о возможном существовании во Вселенной (в сопутствующей системе координат) предельной плотности любой формы материи. В качестве конкретного выражения для предельной плотности предложена величина $\rho_0 = c^5 / \hbar\varkappa_0^2 \sim 10^{94}$ г/см^3, где $\varkappa_0$ – гравитационная константа [6, 14].

В настоящей статье выдвигается гипотеза, согласно которой при достижении предельной плотности унифицируются все различия в формах материи (полей) и в условиях предельной плотности материя должна характеризоваться лишь гидродинамическими свойствами. Физически это значит, что при каких-то плотностях в процессе сжатия материи частицы, составляющие материю, должны терять свои специфические характеристики. На другом языке это значит, что при соответствующих плотностях (может быть, различных для различного класса частиц) нарушаются законы сохранения, связанные с нарушением, в частности, инвариантности абелевых и неабелевых симметрий. В связи с гипотезой о предельной плотности материи обращает на себя внимание то обстоятельство, что в правой части уравнения Эйнштейна не содержится никаких величин, характеризующих гравитационное поле. Правая часть уравнения содержит лишь тензор плотности различных материй. Другими словами, гипотеза о существовании конечной плотности только этих материй не избавляет от появления в процессе коллапса вселенной сингулярности, связанной, например, с гравитационным реликтовым излучением. Плотность энергии этого излучения в настоящее время оценивается $\rho_{grav} \sim 10^{-35}$ г/см^3, т.е. примерно только на 2 порядка меньше плотности реликтового фотонного излучения [2]. При размерах вселенной $R_{max} \sim 10^{28}$ см в процессе ее сжатия плотность гравитационной энергии только реликтовых гравитонов достигает планковской плотности $\rho_0 \sim 10^{94}$ г/см^3 уже на радиусе вселенной $R \sim 10^{-5}$ см. Плотность энергии гравитационного поля, вообще говоря, описывается не тензором, а псевдотензором, и эта величина во многих случаях может исчезнуть при некоторых координатных преобразованиях. Но для случая *полной* энергии и импульса изолированной системы соответствующий псевдотензор приобретает свойства тензора [8].

* Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46, вып. 9. С. 342–345.

Более того, в рамках квантовой теории давно началось рассмотрение реальных возможностей превращения энергии гравитонов в другие формы материи [3]. Другими словами, гравитационная энергия должна также ограничиваться предельной плотностью. Вообще говоря, классические работы [4, 5] о возмущениях метрики гравитационного поля указывают на трудности, связанные с возникающими сингулярностями, которые пока не преодолены в известных моделях вселенных.

Возвращаясь к обсуждению гипотезы об унификации всех форм материи при экстремальных плотностях, следует напомнить, что с появлением в теории таких объектов, как черные дыры, известно, что (по терминологии Уилера) "черные дыры не имеют волос". Черная дыра как целое может обладать лишь массой, электрическим зарядом и моментом вращения. Известно, что закрытая вселенная не может обладать отличными от нуля полной массой, зарядом и также, как следует из работы [1], моментом вращения. В результате сказанного выше не представляется абсурдным предполагать, что когда закрытая вселенная в процессе коллапса достигает планковских плотностей материи, вся материя вселенной унифицируется в собрание элементарных черных дыр – по нашей терминологии "максимонов" [9], возможно, не обладающих ни электрическим зарядом, ни спином. Более того, в этой стадии коллапса материя, состоящая из максимонов, по-видимому, может быть и абсолютно холодной. Нагрев этой материи, состоящей из "плотной упаковки" максимонов, имеющих массу предельной плотности, может нарушить гипотезу предельной плотности. Предполагается, что элементарные черные дыры могут как непосредственно образовываться из гравитационного поля, так и трансформируясь предварительно в другие формы материи. Здесь речь идет как о поперечных возмущениях (гравитонов), так и о возмущениях продольных – типа звука. Во всяком случае, эта гипотеза выглядит естественной в линейном приближении. Не исключено, что описание нелинейной области явлений на классическом языке сведется к формализму типа формализма Борна–Инфельда, т.е. к конечности кривизны [6].

Пока речь идет о стабильных элементарных черных дырах, в условиях их "плотной упаковки" в "непрерывной" максимонной среде. Рассмотрение физических свойств такой материи требует последовательной квантовой теории и гравитационного поля. Пример нейтрона, стабильного в связанном состоянии в принципе может быть поучительным. Против стабильности конечного состояния свободной черной дыры имеются астрофизические соображения, так же как и для существования большого числа магнитных монополей. Имеется и ряд аргументов в пользу их стабильности [7, 12, 13][1].

В ряде статей нами рассматривалась гидродинамическая модель в осциллирующей вселенной, в частности заполненной пылевидной материей. Предыдущие соображения показывают, что подобная модель, в которой роль пыли играет ансамбль элементарных черных дыр, может оказаться способной описывать

---

[1] Видимо, в области масс черных дыр, близких к планковским, спектр хокинговского излучения деформируется, так как есть основания полагать, что уровни квантованной черной дыры не сильно перекрываются.

состояние вселенной в моменты, близкие к конечной стадии коллапса. С другой стороны, обращает на себя внимание, что конкретный вариант модели этого класса, изложенный нами в ряде статей [10, 11], именно модель, называемая "осциллирующей" вселенной Фридмана–де Ситтера с Λ-членом, зависящим от плотности вещества, в начальной стадии расширения вселенной имеет много общего с моделями так называемых инфляционных вселенных.

Напомним уравнение Эйнштейна, адаптированное нами для случая фридмановской осциллирующей пылевидной вселенной:

$$(\dot{a}/ca)^2 + \frac{1}{a^2} = \frac{8\pi\varkappa_0}{3c^2}[\rho F(\rho^2/\rho_0^2) + \Lambda'\theta(\rho^2/\rho_0^2)], \tag{1}$$

где a – "радиус" вселенной, ρ – плотность материи, Λ' – константа размерности плотности массы. Функции F и θ выбираются так, что $F \to 0$ при $\rho \to \rho_0$; $\theta \to 1$ при $\rho \to \rho_0$; $F \to 1$ при $\rho \ll \rho_0$, $\theta \to 0$ при $\rho \ll \rho_0$:

$$\Lambda' \frac{8\pi\varkappa_0}{3c^2} = \Lambda_0 \text{ – константа } (\Lambda_0\text{-член}).$$

Подчеркиваем, что второй член в (1) не содержит гравитационной константы $\varkappa_0$ – он представляет собой $\sim\Lambda'\varkappa_0$-член, зависящий только от плотности материи. Таким образом, при малых плотностях ($F \to 1$; $\varkappa_0\Lambda'\theta \to 0$) уравнение (1) описывает закрытую вселенную Фридмана: Λ-член практически исчезает. При $\rho \to \rho_0$, наоборот, возрастает Λ-член: в пределе и он становится равным константе $\varkappa_0\Lambda'$, а плотность гравитирующей энергии стремится к нулю ($\rho F \to 0$) и вселенная становится чисто де-ситтеровской. Закон перекачки плотности наблюдаемой гравитирующей энергии ρF в Λ-член дается уравнением "сохранения":

$$\frac{1}{\sqrt{-g}}\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho F\sqrt{-g}\right) + \Lambda'\frac{\partial}{\partial t}\theta = 0, \tag{2}$$

которое автоматически следует из обращения в нуль ковариантной дивергенции левой части уравнения Эйнштейна. Функции F и θ выбираются из добавочного условия – в данном случае требовалось, чтобы коллапс вселенной останавливался при плотностях $\rho = \rho_{max} \lessapprox \rho_0$ и радиусе вселенной $a_{min} \sim l_{Pl} \approx \sqrt{\hbar\varkappa_0/c^3} \sim 10^{-33}$ см. Этим условиям удовлетворяют простые функции:

$$F = [1 - (\rho^2/\rho_0^2)]; \quad \theta = \rho^2/\rho_0^2; \quad \Lambda'/\rho_0 = 2. \tag{3}$$

От выбора функций F, θ, значения ρ_{max} и Λ' зависит продолжительность де-ситтеровской фазы, т.е. фазы нового расширения вселенной после остановки коллапса[2].

---

[2] Образование галактик требует рассмотрения различных возмущений в данной модели в фазе "отскока".

Она может сильно варьироваться при выборе констант ρ_0 и Λ' и вида функций F и θ. Интегрирование уравнения (2) дает связь между ρ, ρ_0, Λ', a и константой интегрирования M_0, имеющей смысл полной массы всех пылинок, образующих закрытую вселенную:

$$\left[(\rho_0^2-\rho^2)\rho\frac{(\rho_0+\rho)}{|\rho_0-\rho|}\right]^{\Lambda'/\rho_0}=\frac{M_0\rho_0^2}{2\pi a^3}. \quad (4)$$

При $\rho \to \rho_{\max}$, когда уравнение (1) принимает вид

$$(\dot{a}/ca)^2+\frac{1}{a^2}\approx\Lambda_0, \quad (5)$$

в де-ситтеровской фазе

$$a\sim a_{\min}e^{\pm c\sqrt{\Lambda_0}t}. \quad (6)$$

В инфляционных моделях роль Λ-члена обычно играет потенциальная энергия некого скалярного поля φ. Предполагается, что $\dot{\varphi}$ – мало. При малых временах расширяющейся вселенной физическое отличие нашей модели вселенной от инфляционных заключается в том, что в последней нет истинного Λ_0-члена, истинной константы де-ситтеровской метрики, характеризующей своеобразную *не гравитирующую* форму материи[3]. Поэтому при коллапсе инфляционной вселенной она не возвращается в состояние начальной де-ситтеровской вселенной, автоматически не выполняется равенство нулю $\dot{\varphi}$ в процессе коллапса. А ставшие, например, "модными" вселенные, возникающие из "ничего", по определениям должны быть закрытыми.

Λ_0-член введен Эйнштейном в левую часть уравнения, не содержащую гравитационной константы $\varkappa$: $R_{\mu\nu}-\frac{1}{2}g_{\mu\nu}R+g_{\mu\nu}\Lambda_0=\varkappa_0 T_{\mu\nu}$. В инфляционных моделях *формальную* роль Λ-члена обычно играет скалярное поле φ, т.е. гравитирующая материя. При делаемых предположениях ($\dot{\varphi}=0$ в начальный момент) можно получить решение типа де-ситтеровского, но, строго говоря, речь идет о квази-де-ситтеровской начальной фазе вселенной.

В заключение выражаю благодарность В. Муханову за полезные обсуждения.

---

[3] Из предыдущего следует, что унификация материи в форму среды элементарных черных дыр – это ступень дальнейшего превращения материи в физическую реальность, описываемую Λ-членом, которая, по сути дела, является первоматерией в смысле Анаксагора [11], для которой характерно свойство не состоять из частей, способных перемещаться друг относительно друга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Березин В.А.* // Тр. ФИАН. 1983. Т. 152. С. 31.

2. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.* Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975. С. 391.

3. *Иваненко Д.Д.* Квантовая теория поля. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1952. С. 675.

4. *Лифшиц Е.М.* // ЖЭТФ. 1946. Т. 16. С. 587.

5. *Лифшиц Е.М., Халатников И.М.* // Успехи физ. наук. 1963. Т. 80. С. 391.

6. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 214.

7. *Aharonov Y., Casher A., Nussinov S.N.* // Phys. Lett. B. 1987. Vol. 191. P. 51.

8. *Isaacson R.* // Phys. Rev. 1968. Vol. 166. P. 1263, 1272.

9. *Markov M.A.* // Progr. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa.

10. *Markov M.A.* // Ann. Phys. 1984. Vol. 155. P. 33.

11. *Markov M.A.* // Group theoretical methods in physics. Yurmala, 1985.

12. *Markov M.A., Maltsev V.* Preprint P-0160/ INR. Moscow, 1980.

13. *Mukhanov V.F.* Evaparation and etropy of quantized blackhole. Moscow, 1986. (Prepr./INR; N 163).

14. *Rosen N.* // Astrophys. J. 1985. P. 297, 347.

О ФИЗИЧЕСКОМ ТОЛКОВАНИИ УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА И ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ*

Прежде всего я хотел бы выразить благодарность присутствующим на семинаре, в том числе нашим иностранным коллегам, принявшим наши приглашения. Проблемы очень ранней вселенной находятся в существенной связи с общей теорией элементарных частиц. Вот почему тематика релятивистских струн нашла существенное место в программе семинара. В числе прочих привлекательной надеждой в этой теории является возможность представления протяженности частиц в рамках релятивистской теории. Одна из таких попыток была сделана лет 30 назад [5], при этом использовались релятивистские осцилляторы, набором которых является релятивистская струна. В дальнейшем мне бы хотелось в основном посвятить свое введение различным трактовкам квантовой теории, точнее, решению уравнения Шредингера, столь важного для понятия волновой функции вселенной.

Процесс наблюдения объектов микромира основывается на физическом взаимодействии микрообъекта со специальной, очень нестабильной макроскопической системой, что приводит в конце концов к регистрируемому изменению ее классического состояния.

---

* Доклад на IV семинаре по квантовой гравитации. М., 1987. На англ. яз.: Quantum Gravity // Proc. 4th Seminar on Quantum Gravity. Moscow, 1987. Singapore: World Sci., 1988.

Можно ли сказать, что предметом квантовой теории, скажем, для определенности в рамках релятивистского уравнения Шредингера является, вернее, фактически являлось изучение особого класса макроскопических явлений, вызываемых объектами микромира?[1]

Как бы далеко не выходили явления за рамки классического объяснения, утверждает Бор, все опытные данные должны (а на основании предыдущего можно добавить – и могут) описываться при помощи классических понятий.

С другой стороны, не соответствует ли истине утверждение, что все достижения квантовой теории в описании микрообъектов получены безотносительно к детальной интерпретации физического смысла Ψ-функции, о котором до сих пор ведутся дискуссии: мы имеем в виду главным образом копенгагенскую интерпретацию [4], статистическую интерпретацию [1–3], согласно которой квантовая теория представляет собой не обобщение классической механики, а обобщение классической статистической теории, и так называемую многомировую интерпретацию [9].

Согласно копенгагенской (и многомировой) трактовке, квантовая механика описывает исчерпывающим образом поведение и единичного объекта микромира. Согласно статистической интерпретации, квантовая теория неприменима к описанию единичного объекта микромира (скажем, одного электрона), ее объектом является некоторый коллектив событий. Справедливо ли утверждение, что если квантовая механика способна описывать лишь статистические коллективы, то повторный эксперимент на том же объекте (именно на том же электроне, на том же атоме) не обязан повторять предыдущий результат? Если это утверждение справедливо, то не мог бы повторный эксперимент оказаться арбитром между двумя обсуждаемыми интерпретациями квантовой теории? Это первый вопрос к аудитории.

Если последние соображения правильны, то, казалось бы, проведение повторных экспериментов над одним и тем же микрообъектом представляет по своей важности одну из фундаментальных проблем современной физики.

А может быть, такие эксперименты уже проведены? Или, может быть, они очень трудны, так как требуют неразрушимости состояния объекта в этих измерениях? Или, строго говоря, вообще невозможны?

---

[1] Такая формулировка совместима с представлением о существовании микромира независимо от субъекта. Во всяком случае, оставляет неизменным старый набор гносеологических концепций, который обсуждался и обсуждается в доквантовой физике. Здесь имеется в виду реализм (материализм) – признание существования объектов независимо от наблюдателей, солипсизм – антитеза реализму, позитивизм. Позитивизм как философское течение пытается стать как бы над материализмом и идеализмом, утверждая, что проблема существования или несуществования объективного мира вне нашего сознания – проблема надуманная, которая не должна занимать физика. Существуют много различных оттенков в сущности этих трех фундаментальных гносеологических концепций. На основании сказанного выше в сфере логических построений сторонники трех гносеологических концепций могут оставаться при своих убеждениях, так как источниками получаемых наблюдателями ощущений являются те же макроскопические объекты (т.е. показания макроскопических приборов), о которых речь идет и шла в классической физике. О встречающихся в литературе утверждениях о том, что квантовая механика дает новые аргументы против реалистических концепций, еще будет идти речь в дальнейшем.

Переходим ко второму вопросу. В копенгагенской трактовке Ψ-функция рассматривается как список возможностей[2], из которых классический прибор отбирает ту единственную, которая и реализуется в классическом измерении. Именно этот процесс, который носит название редукции волновой функции, наиболее часто подвергался и подвергается обсуждениям. Следует заметить, что процесс редукции списка возможностей часто встречается в нашей жизненной макроскопической практике и связан с заданием неполных сведений. В этом случае мне хочется привести два примера редукции списка возможностей, которые могут, с одной стороны, иллюстрировать обсуждаемую ситуацию, но, будучи далекими от квантовой редукции, способны существенно исказить смысл квантовой редукции, что в этих случаях важно подчеркнуть.

Пусть нами получена информация, заключающаяся в одной фразе:

"На темном небе взошла Луна".

В связи с этой фразой в нашем сознании возникает список разных возможностей, так как фразой не конкретизируется состояние Луны. Этот "список возможностей" содержит всевозможные состояния Луны – от тончайшего серпа нарождающейся Луны до ущербного серпа Луны исчезающей.

Начнем эксперимент. Для этого достаточно посмотреть в окно. Эксперимент обнаруживает полную Луну. Таким образом, весь список возможностей различных состояний в данном случае свелся (т.е. редуцировался) к единственному состоянию "полнолуния".

---

[2] У физика-реалиста, воспитанного на уравнениях классической механики, термин "список возможностей" вызывает опасения: не порывается ли здесь с представлением об объективном существовании описываемых явлений?

Но в конкретных случаях Ψ-функции проявляется их объективный смысл уже в том, что для осциллятора этот список выглядит совершенно отлично, чем, например, для ротатора, для свободного движения частицы или для атома водорода, существование различной объективной реальности диктует различный перечень возможностей для описания того или иного объекта микромира. Квантовая механика и в этой интерпретации не только не противоречит признанию существования объективного мира (микромира) до всякого опыта, но, как и классическая теория, предполагает его.

Если электрон, например, существует в природе, то соответствующий интеграл от квадрата Ψ-функции по всему бесконечному пространству оказывается отличным от нуля и может характеризоваться единицей. Если электрона нет в наличии, соответствующее выражение отсутствует. Авторы – сторонники копенгагенской трактовки квантовой теории – порой очень небрежны в своей терминологии, которая часто неприемлема для физика-реалиста, что давало основание рассматривать эту трактовку как последовательно позитивистскую и даже агностическую. Изложение содержания квантовой теории обычно пестрит утверждениями, имеющими чисто субъективистский смысл, например "мы не можем одновременно измерить импульс и координату электрона", "измерив координату электрона, мы теряем наше прежнее знание его импульса". Соотношение неточностей Гейзенберга выглядит в этом смысле не как возникшее у нас понимание свойств микрообъектов, отличных от классических, а как нечто вроде "злого рока", ограничивающего возможность познания микромира.

Лингвистические возможности субъективистского искажения в описании реальных явлений природы безграничны. Так, в одной из книг по метеоритике сказано, что число падающих метеоритов на единицу поверхности Земли тем больше, чем выше плотность населения и чем выше культурный уровень населения.

По свидетельству В. Фока, который имел возможность лично с Бором обсуждать его (боровскую) интерпретацию квантовой механики, "Бор решительно выражает свое несогласие с позитивистской точкой зрения и полностью признает объективность свойств атомных объектов".

Приведем другой пример, который ближе к случаям, обсуждавшимся в квантовой теории, но и он далек от своеобразия проблемы редукции в квантовой теории.

Пусть нам дано уравнение классической механики, описывающее свободное движение материальной точки. Его решение

$$x = vt + c \tag{1}$$

описывает положение материальной точки на оси x в любой момент. Но если нам не задана постоянная c – положение частицы в момент $t = 0$ (начальное условие) т.е.:

$$x = vt,\ c = ? \tag{2}$$

то даже при известном значении постоянной во времени скорости v для описания "состояния частицы", ее положения на оси x в любой момент t у нас имеется лишь "список возможностей".

Другими словами, эксперимент, выполняющий "редукцию" возможностей, может в этом случае дать одно из любых значений x в определенный момент в интервале

$$-\infty < x < +\infty.$$

В квантовой теории свободное движение частицы описывается волновой функцией

$$\Psi = \frac{1}{\sqrt{V}} e^{[i/\hbar \bar{p}\bar{v} - E_p t]}, \tag{3}$$

где E_p – классическое выражение для кинетической энергии свободной частицы, $p = mv$ – классическое выражение для импульса частицы.

Решение уравнения Шредингера (3), так же как и решение уравнения классической механики (2), дает запись "списка возможностей" найти частицу на оси x в пределах

$$-\infty < x < +\infty.$$

Как в случае классическом (2), так и в случае квантовом (3) в результате нахождения (эксперимента) частицы в точке $x = x_1$ в момент t_1 возникает редукция наших прежних "списков возможностей". Появление конкретного значения $x = x_1$ как в рамках списка классических возможностей, так и в рамках списка квантовых возможностей является актом случайным. Но природа этой случайности совершенно различна. В классическом случае заданием начального значения координаты x_0 в момент t_0 однозначно определяется значение x_1 в момент t_1. В данном классическом случае случайность, случай представляет собой непознанную нами необходимость. Но в рассматриваемой трактовке квантовой механики случайность, случай должен трактоваться в его абсолютном смысле. Даже известное выражение Эйнштейна "Бог играет в кости со Вселенной" не исчерпывающим образом характеризует обсуждаемую ситуацию: выпадение той или иной грани кости в реальном

случае ее бросания все-таки можно рассматривать как непознанную необходимость, даже если ее бросает Бог. Признание объективного существования "абсолютного шанса" в копенгагенской трактовке квантовой теории представляет, может быть, одно из самых радикальных изменений наших представлений о физических явлениях за всю историю научного естествознания, с чем, кажется, не просто смириться.

С другой стороны, уместно напомнить, что как-то без особых дискуссий, постепенно мы давно привыкли к тому, что, например, конкретное значение времени распада данного нейтрона в его системе покоя представляет собой пример абсолютного случая. И такая трактовка распада нейтрона, по-видимому, должна сохраниться во всех интерпретациях квантовой теории. Можно ли утверждать, что признание существования в природе абсолютного случая уже стало фактом независимо от справедливости или несправедливости трактовки копенгагенской редукции? Что Бог уже давно играет с нами в кости, вернее, мы в физике уже давно знаем об этом, – это вопрос второй.

Решение уравнения Шредингера (Ψ-функция) может быть представлено часто в виде ряда по собственным функциям какого-либо оператора, представляющего наблюдаемую

$$\Psi = \sum \alpha_k \Psi_k; \quad k = 1, 2, 3, \ldots$$

В копенгагенской трактовке вследствие редукции процесса измерения, скажем, Ψ_l лишь оказывается реальностью, все остальные $\Psi_k \neq \Psi_l$ остаются лишь как несостоявшиеся возможности. То есть они не отмечаются какими-либо признаками реальности. Целесообразно подчеркнуть, что в копенгагенской редукции волновой функции вызывает вопрос на самом деле не то, что Бог как бы играет с нами в кости, а то, что он играет там, где, казалось бы, не должен играть: ведь, согласно уравнению Шредингера, волновая функция развивается детерминистическим образом до эксперимента. Ведь измерительный прибор сам по себе представляет собой комплекс объектов микромира. Казалось бы, что результат взаимодействия микрообъекта с прибором как системой большого числа микрообъектов должен быть детерминирован. И однозначность показания прибора, следующая из макроскопического опыта, казалось бы, должна следовать также из уравнения Шредингера, применимого к объекту микромира и совокупности объектов макромира (прибор). Невозможность вывести показание классического прибора, используя математический аппарат квантовой теории, казалось бы, следует рассматривать как глубокое внутреннее противоречие копенгагенской трактовки квантовой теории. Правильно ли это утверждение? Это вопрос третий.

Эверетт поставил своей задачей придать объективный смысл и функциям Ψ_k, насколько это возможно приблизить смысл квантовой Ψ_k к Ψ_l-функции. Такая возможность в интерпретации Эверетта существует при условии, как если бы каждая из функций описывала бы реальное состояние квантового объекта в своем k-м мире, со своим макроскопическим (классическим) прибором и своим наблюдателем.

Что же представляет собой понятие физической реальности в квантовой теории? Напомним, что микромир нами изучается по его проявлениям в макромире,

говоря образно, в его различных "проекциях на макромир". Представляется, что аналогия, о которой речь пойдет ниже, может иллюстрировать возможность исчерпывающего познания человеком физической реальности микромира по его макроскопическим проекциям.

Пусть на плоскости живут плоские мыслящие существа, их чувствам недоступны объемные тела. Пусть в природе имеется трехмерное тело – конус, который в своем движении иногда пересекается с плоскостью мыслящих существ, давая в этом сечении одну из конических фигур. В таких случаях плоские существа констатируют либо окружность, либо эллипс, либо параболу, а то просто пару пересекающихся прямых или даже точку. Физическая реальность в плоском мире плоских существ представляет собой "форму проявления трехмерной реальности в их двумерном мире". Существенно подчеркнуть, что в практической деятельности этих существ с помощью указанных пяти геометрических образов до конца исчерпывается трехмерное содержание понятия конуса[3].

Правда, двумерные существа будут различать эллипс и окружность как две различные несовместимые физические реальности. Но когда они захотят все многообразие наблюдаемых свойств связать с объектом как источником всех этих наблюдаемых реальностей, они будут говорить в каком-то смысле о сосуществовании всех этих образов в одном объекте, т.е. о "кентаврообразности" объекта в их плоском пространстве. Здесь имеется в виду та "кентаврообразность", согласно которой, например, материальная частица в квантовой механике обладает свойствами волны и корпускулы.

В копенгагенской трактовке детерминистическое развитие Ψ-функции продолжается до того момента, когда микрообъект взаимодействует с макроприбором. В рамках копенгагенской трактовки это взаимодействие не описывается каким-либо детерминистическим уравнением. Из списка всех возможностей в этом взаимодействии микроявления с макроприбором реализуется по закону случая одна и только одна возможность. Этот постулат редукции различных возможностей к одной из них принимается как фундаментальный опытный факт.

Многомировая интерпретация утверждает, что все возможные состояния на самом деле реальны.

Но одно-единственное показание макроскопического прибора как экспериментальный факт обязано присутствовать и в эвереттовской многомировой интерпретации. Поэтому в многомировой интерпретации утверждается, что все остальные возможности, кроме данного наблюдаемого, реализуются в других мирах,

---

[3] Здесь анализ Кантом связи проблемы познания мира с признанием его существования независимо от познающего его субъекта заслуживает той высокой оценки, которая содержится в высказываниях А. Эйнштейна [3].

«Второй шаг (в познании внешнего мира. – *М.М.*) состоит в том, что в нашем мышлении (которое определяет наше ожидание) мы приписываем понятию телесного объекта смысл, который еще в большей мере независим от чувственного ощущения, первоначально его породившего. Именно это мы хотим выразить, когда приписываем телесному объекту "реальное существование". Оправдание такого утверждения основано исключительно на том факте, что с помощью таких понятий и установленных между ними мысленных отношений мы способны ориентироваться в лабиринте ощущений».

Другими словами, критерий правильности нашего абстрактного мышления дается нашей практикой, нашим активным воздействием на микромир через макроприбор.

которые из данного мира ненаблюдаемы. Это утверждение строго выполняется при $\hbar \to 0$ в классическом приближении. В целом, как пишет Д. Дейч: "Состояние мира не является само по себе наблюдаемой величиной, однако оно по-прежнему описывается в любой момент времени набором (ненаблюдаемых) значений, и закон его по-прежнему детерминистичен".

Этот набор величин и закон их изменения есть "истинная реальность" мира, его состояние. То, что мы непосредственно воспринимаем вокруг себя и о чем мы привыкли думать как о реальности – "Вселенная", есть на самом деле лишь проявление более грандиозной реальности (в которой существуют и взаимодействуют множество вселенных). Из сказанного выше можно было бы усмотреть существенную аналогию в интерпретации Ψ-функции в копенгагенском и эвереттовском изложении. В первом случае не все возможности, кроме одной, реализуются, во втором случае они все реализуются, но все возможности, кроме одной, ненаблюдаемы.

В отличие от копенгагенской, в эвереттовской интерпретации нет проблемы редукции волновой функции, но признание бесчисленных ненаблюдаемых вселенных – это та цена, которую приходится платить за решение проблемы редукции волновой функции. Правда, на этом этапе сравнения двух интерпретаций имеется возможность более осторожно формулировать ситуации с точки зрения макроскопического наблюдателя, говоря условно, что ситуация такова, "как если бы одновременно существовало большое количество ненаблюдаемых вселенных". В пользу многомировой интерпретации можно привести еще один аргумент. Дело в том, что как в копенгагенской, так и в эвереттовской интерпретации существенную роль играет измерение – взаимодействие микрообъекта с классическим прибором – результат этого взаимодействия описывается квазиклассическим состоянием системы. Классическое, вернее, квазиклассическое состояние в математическом аппарате теории дается с помощью теоремы Эренфеста. Но эта теорема, вообще говоря, не дает однозначного классического описания (состояния микрообъект + прибор) при $\hbar \to 0$, и возникающие здесь члены, казалось бы, естественно интерпретировать как классические состояния в различных, одновременно существующих вселенных. В противном случае возникает на макроскопическом уровне "проблема кота" Шредингера. Естественно возникает вопрос – имеются ли какие-либо экспериментальные или другие преимущества многомировой интерпретации, в частности возможность какого-либо экспериментального подтверждения существования классически ненаблюдаемых вселенных. "Истинная реальность" не проявляется ли реально в тех возможно специфических ситуациях, в частности, когда квантовыми поправками нельзя пренебречь. Поучительно с этой точки зрения рассматривать модель волновой функции закрытой вселенной[4].

[4] В результате дальнейших уточнений существования "скрытых" масс замкнутость нашей Вселенной в принципе может стать экспериментальным фактом. Кстати, во всех моделях возникновения вселенных "из ничего" возникающие таким образом вселенные без нарушения закона сохранения энергии должны быть закрытыми.

ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

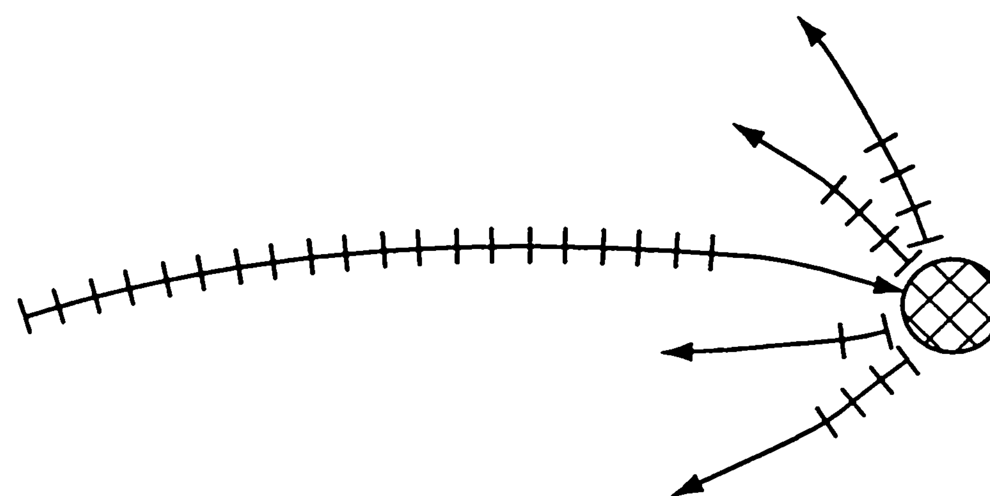
Существует мнение, идущее от Эверетта, что копенгагенская трактовка неприменима к закрытой вселенной, так как она требует классического наблюдателя, который в данном случае отсутствует. Следует подчеркнуть, что наблюдатель всегда может быть заменен классическим прибором. И что классический прибор, с которым связано квазиклассическое представление компонентов Ψ-функции, существенно необходим для многомировой интерпретации, так как предпочтительный базис, по которому разлагается Ψ-функция, и, следовательно, набор невзаимодействующих друг с другом миров определяются прибором, приспособленным к измерению именно данной наблюдаемой величины. Закрытая вселенная, допустим, в которой мы обитаем, представляет собой классический, точнее, квазиклассический для нас, единичный объект (а не ансамбль объектов, как это обычно имеет место в экспериментах в квантовой физике), который изучается классическим наблюдателем, локализованным внутри закрытой вселенной.

По существующим представлениям, закрытая вселенная в конце концов должна коллапсировать, классически обращаясь в сингулярность, что, по терминологии Уилера, представляет собой "величайший кризис классической физики". Но приближаясь к сингулярности, достигая планковских размеров, вселенная становится уже объектом квантовой физики – в этом ее специфичность. Известна попытка Уилера трактовать вечно осциллирующую вселенную как объект, который после коллапса из состояния "черного ящика" возрождается с новыми параметрами, существенно отличными от параметров прежней вселенной.

Эта идея иллюстрируется Уилером моделью "черного ящика" [8], применимой как к случаю рассеяния электрона на непредсказуемый угол на рассеивающем центре, так и к возникновению "возрожденной" вселенной из состояния "черного ящика" с новыми параметрами как следствие квантовых неопределенностей в состоянии "черного ящика".

Уилер пишет:

"Хотя эта картинка воспроизводства вселенной, казалось бы, следует из основных свойств общей теории относительности и из квантового принципа – двух



Воспроизводство вселенной

Выходящие линии символизируют как различные непредсказуемые направления рассеянного на кулоновском центре электрона, так и начала новых историй самой вселенной после коллапса, ее "воспроизводство", возникающее из "черного ящика", для которого неприменимо классическое пространственно-временно́е описание

важнейших принципов двадцатого столетия, тем не менее она представляется поистине фантастической: как может динамика столь невообразимо гигантской системы переключаться по воле случая с одного цикла, длившегося 10^{10} лет, на другой цикл, который будет длиться только 10^6 лет?"

По-видимому, последние соображения Уилера можно иллюстрировать предельным случаем такой классической модели вселенной, в которой в процессе коллапса, например, фридмановская вселенная превращается при некоторой критической плотности во вселенную де Ситтера [6, 7]. Для последней характерно равенство абсолютных величин плотности материи и давления. Такое состояние коллапса не обладает сингулярностью, в этом случае нарушается энергодоминантность. Пример некоторой конкретной модели пылевидной вселенной Фридмана–де Ситтера описывается, например, уравнением Эйнштейна в виде [6, 7]

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 + 1 = \frac{8\pi\varkappa R^2}{3c^2}\left[\rho\left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_{max}^2}\right) + \Lambda'\left(\frac{\rho}{\rho_{max}}\right)^2\right]; \quad \Lambda = \frac{\Lambda' 8\pi\varkappa}{3c^2}; \quad \Lambda' = 2\rho_{max}.$$

Первый член в правой части этого уравнения представляет собой плотность наблюдаемой гравитирующей массы, убывающей с ростом ρ. Второй член, не содержащий гравитационной константы $\varkappa$, представляет собой Λ-член, растущий с ростом ρ.

Своеобразие вселенной Фридмана–де Ситтера поучительно иллюстрировать примером классической вселенной, положив, например, в нашей Вселенной

$$\rho_{min} \sim 10^{-29}\ \text{г/см}^3,\ M_0 = 10^{55}\text{г};\ R_{max} \sim 10^{28}\text{см}.$$

Возьмем, например, $\rho_{max} \sim 10^{21}$ г/см^3 (ad hoc). При принятых параметрах плотность становится близкой к критической ($\rho_{max} \sim \rho$) при $R \sim 10^{11}$ см. При $R \sim 10^{11}$ см начинается фаза, близкая к де-ситтеровской, и коллапс вселенной заканчивается на размерах

$$R_{min} \sim \sqrt{\frac{1}{\Lambda}} \sim 10^3\text{см}.$$

Своеобразная особенность коллапса вселенной Фридмана–де Ситтера заключается в том, что все вселенные с любыми фридмановскими массами (M_0) и любыми размерами в момент максимального расширения (R_{max}), иначе говоря, например весь комплекс эвереттовских вселенных с различными M_0 (различными временами жизни) в момент максимального сжатия (при выбранной плотности ρ_{max}, например, $\rho_{max} \sim 10^{21}$ г/см^3) имеют практически одни и те же размеры:

$$R_{min} \sim 10^3\text{см}\left(1 + \frac{m_0}{M_0}\right) = 10^3\text{см}(1 + 10^{-25}),$$

где

$$m_0 = \rho_{max} V_{min} \sim 10^{21} \cdot 10^3 = 10^{30}\text{г}.$$

При стремлении максимальной плотности к плотности Планка $\rho \sim \dfrac{c^5}{\hbar\varkappa^2} \sim 10^{94}$ г/см^3 все гравитирующие массы вселенных – членов комплекса с различными M_0 в момент максимального сжатия стремятся к нулю, практически унифицируются и радиусы максимального сжатия

$$R_{\min} \sim l_{\rm Pl}\left(1+\frac{m_{\rm Pl}}{\rm M_0}\right),$$

где $l_{\rm Pl} = \sqrt{\dfrac{\hbar\varkappa}{c^3}} \sim 10^{-33}$см – длина Планка.

Вселенные, возникающие после коллапса с массами в интервале от $M_0 \sim 1$ г до $M_0 \to \infty$, неразличимы в момент остановки коллапса: в этот момент они различаются только размерами де-ситтеровских вселенных, лежащих между значениями $R_{\min} \sim l_{\rm Pl}(1+10^{-5})$ и $R_{\min} \sim l_{\rm Pl}$.

Другими словами, весь этот комплекс вселенных в момент воспроизводства вселенных характеризуется, в сущности, одним и тем же значением Λ-члена. Кажется, что предложенная модель вселенной Фридмана–де Ситтера естественным образом реализует идеи Уилера о воспроизводстве вселенных в процесе коллапса с измененными параметрами. Если в рамках обсуждаемой модели вселенная рождается "из ничего", то, по предыдущему, вселенная в этом почти де-ситтеровском состоянии, образно говоря, "черного ящика" не имеет фиксированных начальных условий для ее квазиклассической фазы, которыми фиксируется продолжительность де-ситтеровской фазы или $R_{\max}$ фридмановской вселенной. С точки зрения эвереттовской интерпретации такой рожденный объект представляет собой начальное состояние для огромного комплекса вселенных, которые в квазиклассическом развитии характеризуются всеми значениями M_0, всеми продолжительностями времени жизни – от мгновения до бесконечности. Образование же состояния "черного ящика" в эвереттовской трактовке либо должно характеризоваться де-виттовским термином – "расщеплением" данной вселенной на комплекс вселенных, либо, если это поддается описанию, согласованным комплексом некогда родившегося комплекса вселенных, что требует ввиду различных собственных времен существования вселенных какого-то адекватного формализма.

Используемая нами в целях иллюстрации модель пылевидной вселенной, буквально понимая, не имеет отношения к реальной Вселенной; более того, конечная плотность энергии-импульса не может приостановить коллапса вселенной, обязанного гравитационному полю. Эта модель могла бы стать реалистической, если все поля, все частицы, существующие во фридмановской фазе, в том числе и возникающие гравитационные волны в де-ситтеровской стадии, превращались бы, например, в пыль элементарных черных дыр и в таком виде трансформировались бы в Λ-члены.

Видимо, ненаблюдаемость других вселенных из данной квазиклассической в какой-то мере беспокоит сторонников многомировой интерпретации, во всяком

случае, обсуждается возможность эксперимента, который мог бы обнаружить реальное существование других вселенных.

Для этого необходимо создать условия эксперимента, в каком-то смысле близкие к условиям воссоздания комплекса вселенных после коллапса.

Конкретнее это значит повторить некий эксперимент, воссоздав в точности то состояние наблюдаемой системы, которое существовало до первого эксперимента, и в результате повторного эксперимента очутиться во вселенной, отличной от вселенной первого эксперимента. Возможность такого эксперимента пока находится в стадии обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Блохинцев Д.* Принципиальные вопросы квантовой механики. М.: Наука, 1966.
2. *Никольский К.* Квантовые процессы. М.: Гостехтеоретиздат, 1940.
3. *Einstein A.* Physik und Realital / Francein Inst., 1936. S. 349.
4. *Heisenberg W.* Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie. Leipzig: Hirzel, 1941.
5. *Markov M.A.* // Nuovo cim. Suppl. 1956. Vol. 3, N 4. P. 760.
6. *Markov M.A.* // Ann. Phys. 1984. Vol. 155, N 2. P. 333.
7. *Markov M.A.* Micro-macro symmetric universe. Moscow, 1985. (Prepr./INR; P-0420).
8. *Misner Ch., Torn K., Wheeler J.A.* Gravitation. San Francisco: Freeman, 1973.
9. The many-world interpretation of quantum mechanics. Prinston (N.J.): Princeton Univ. press, 1973.

CLASSICAL PREFERABLE BASIS IN QUANTUM MECHANICS*

1. INTRODUCTION

In quantum theory, a physical system is characterized by the vector of the corresponding Hilbert space, $|\psi\rangle$, which contains all the information on the state of the system. To interpret the vector $|\psi\rangle$, it is usually necessary to find the expansion of this vector in a certain basis of the initial Hilbert space. Although all the various expansions are equivalent from the point of view of the mathematics of the theory, in comparison of the elements of the mathematics with the elements of reality this equivalence is violated. So, in the Copenhagen conception of quantum theory in a consideration of a concrete experiment, preferable is the set of vectors to which the initial vector of the "state" of the system may be reduced as a result of measurement. In the many-world version of quantum theory [3, 4] there also exists a preferable basis which characterizes the ensemble of universes described by quantum mechanics [2]. At each time moment a concrete element of this preferable basis is assigned a concrete universe. Thus, a preferable basis determines the scheme of comparison of an abstract vector

* Phys. Lett. A. 1988. Vol. 127, N 5. P. 251–254. Co-author *V F. Mukhanov*.

$|\psi\rangle$ of a Hilbert space with elements of reality (ensemble of universes). In what follows we are dealing only with the many-world conception of quantum theory.

Several papers [2, 9, 11] proposed different ways to define a preferable basis. A detailed analysis of these preferable bases will be given elsewhere. The aim of the present paper is to describe the classical preferable basis (and its possible quasiclassical extension) which in our opinion is not only the most natural one but also necessary and sufficient for comparison of theory with observations. To this end we first of all briefly dwell on a not very trivial question concerning the classical limit of quantum mechanics.

2. THE CLASSICAL LIMIT OF QUANTUM MECHANICS

As is well known, the behaviour of macroscopic objects obeys the laws of classical mechanics. On the other hand, since any macro-object consists of micro-objects each of which is described by quantum mechanics and there is no reason to exclude application of quantum laws to systems containing a large number of particles [6], it must be also possible for macro-objects to be described by quantum mechanics. In the corresponding limiting case, therefore, the classical laws must follow from the quantum-mechanical laws. The question about passing over from the Schrödinger equation to the equations of classical physics is usually clearly formulated and solved only for simple concrete physical systems [1]. The concept of a classical system can also be defined only in the framework of a concrete physical problem.

In any experiment, an observer perceives *directly* only a set of classical data $\mathcal{M}^\alpha$ ($\alpha = 1, 2, \ldots$) on the state of the subsystems of an investigated physical system. These data are always known with a limited degree of accuracy of $\delta\mathcal{M}^\alpha$. We will call classical such subsystems of a physical system whose state in the framework of the formulated problem is uniquely characterized by a set of *macroscopical* operators $\hat{M}^\alpha$ asigned to observed classical quantities $\mathcal{M}^\alpha$. An operator $\hat{M}$ is called macroscopic if there exists a (super) *complete* set of such vectors $|\psi_i\rangle$ in the Hilbert space of an investigated *subsystem* such that the quantities

$$\overline{M}_i = \langle\psi_i|\hat{M}|\psi_i\rangle \tag{1}$$

satisfy the classical equations of motion with an accuracy exceeding $\delta\mathcal{M}^\alpha$.

It can be shown that for any vector $|\psi_i\rangle$, the following relations hold in this case,

$$\langle\psi_i|(\hat{M}^\alpha - \overline{M}^\alpha)^2|\psi_i\rangle^{1/2} < \delta\mathcal{M}^\alpha \ll \overline{M}^\alpha, \ldots \tag{2}$$

Besides the vectors $|\psi_i\rangle$ and $|\psi_j\rangle$ can be distinguished only if they correspond to classically distinct states, i.e. if for a certain α we have

$$\left|\overline{M}_i^\alpha - \overline{M}_j^\alpha\right| > \delta\mathcal{M}^\alpha. \tag{3}$$

If for the states i and j the conditions (3) do not hold, we will identify these states and henceforth use the indices i only for distinguishable states. For superposition of the wave

functions $|\psi_i\rangle$ and $|\psi_j\rangle$ $(i \neq j)$ (a state of the "Schrödinger cat" type [10])

$$|\psi\rangle = \alpha|\psi_i\rangle + \beta|\psi_j\rangle, \tag{4}$$

the equations for the mean $\overline{M}^\alpha = \langle\psi|\ \hat{M}\,|\psi\rangle$ derived from the Schrödinger equation are the sum of two classical equations $\left(\text{with weights } |\alpha|^2 \text{ and } |\beta|^2 \text{ for } \overline{M}_i^\alpha = \langle\psi_i|\hat{M}^\alpha\,|\psi_i\rangle \text{ and } \overline{M}_j^\alpha = \langle\psi_j\,|\,\hat{M}^\alpha\,|\psi_j\rangle\right)$. It is natural to assume therefore that the wave function (4) described two types of classically different ensembles of universes. In this case the vectors $|\psi_i\rangle$ and $|\psi_j\rangle$ are the components of the preferable basis which specify different universes.

It is natural that classical equations are not exact. Quantum corrections to these equations are responsible for an interference interaction between different universes. These corrections are however small as compared with $\delta\mathcal{M}^\alpha$, and therefore the interaction between universes is smaller than the accuracy of the specification of universes. Classically different universes do not interact in this approximation and develop independently.

3. PREFERABLE BASIS

On the basis of the previous consideraton one can formulate the general rule for the definition of the preferable basis which determines an ensemble of universes described by a given wave function. Since an observer perceives the microworls only in the form of macroscopic phenomena, different universes have an interpretational sense for him only because they are macroscopically (classically) distinct. It is useless to speak of microscopically distinct universes because the interaction (interference) of such universes is too strong.

The definition of a preferable basis is based on the following fact: the observed world of macro-objects is a classical world.

Consider a system described by a complete wave function $|\psi(...)\rangle$. Fixing accuracies of determination of classical observables of a system, single out in the physical system all possible classical subsystems $M_1, M_2, \ldots$ characterized by sets of macroscopic operators $\hat{M}_1^\alpha$, $\hat{M}_2^\alpha \ldots$ Each of these subsystems is described by its own Hilbert space $\mathcal{H}^{M_n}$. In the Hilbert spaces $\mathcal{H}^{M_1}$, $\mathcal{H}^{M_2}$, ... single out the subspaces $\mathcal{H}^{M_i}$ $(i = 1, 2, \ldots)$ whose vectors correspond to certain classical states (see Section 2), so that for any $|\psi_i^{M_n}\rangle \in \mathcal{H}_i^{M_n}$ the following relations hold,

$$\left\langle\psi_i^{M_n}\left|(\hat{M}_n^\delta - \overline{M}_n^\delta)^2\right|\psi_i^{M_n}\right\rangle^{1/2} < \delta\mathcal{M}_n^\delta \ll \overline{M}_n^\delta, \ldots \tag{5}$$

The Hilbert space $\mathcal{H}$ of the whole system is constructed as the direct product of the corresponding Hilbert spaces,

$$\mathcal{H} = \mathcal{H}^{M_1} \otimes \mathcal{H}^{M_2} \otimes \ldots \otimes \mathcal{H}^{M_n} \otimes \ldots \otimes \mathcal{H}^{\text{mic}}, \tag{6}$$

where

$$\mathcal{H}^{M_1} = \mathcal{H}_1^{M_1} \oplus \mathcal{H}_2^{M_1} \oplus ..., \quad (7)$$

and $\mathcal{H}^{\text{mic}}$ is the Hilbert space of microscopic subsystems of the dynamical system.

Define the classical preferable basis as follows:

$$\left|\psi_{11...1...}^{\text{pref}}\right\rangle = \left|\psi_1^{M_1}\right\rangle \left|\psi_1^{M_2}\right\rangle ... \left|\psi_1^{M_n}\right\rangle ... \left|\psi^{\text{mic}}\right\rangle,$$

$$\left|\psi_{21...1..}^{\text{pref}}\right\rangle = \left|\psi_2^{M_1}\right\rangle \left|\psi_1^{M_2}\right\rangle ... \left|\psi_1^{M_n}\right\rangle ... \left|\psi^{\text{mic}}\right\rangle,$$

$$\left|\psi_{ij..k..}^{\text{pref}}\right\rangle = \left|\psi_i^{M_1}\right\rangle \left|\psi_j^{M_2}\right\rangle ... \left|\psi_k^{M_n}\right\rangle ... \left|\psi^{\text{mic}}\right\rangle ... \quad (8)$$

The accuracy of the definition of the vectors (8) is sufficient for one-to-one correspondence between theory and observations. Note that the corresponding basis $|\psi\rangle \in \mathcal{H}^{\text{mic}}$ is fixed automatically within the accuracy determined by the errors of the classical observables.

4. THEORY OF MEASUREMENTS

We shall demonstrate how the proposed way to define the basis works in the theory of measurements. Consider a quantum system S with a wave function $|\psi^S\rangle$ interacting with a device M which measures the quantity $\mathcal{A} \leftrightarrow \hat{A}$ of the system S. The device should be a classical object and its indications are characterized by a classical observable $\mathcal{M}$ (declination of the arrow) which is assigned a macroscopic operator $\hat{M}$. In the space of the wave functions of the device one can single out subspaces $\mathcal{H}_{A_n}^M$ such that for $\left|\psi_{A_n}^M\right\rangle \in \mathcal{H}_{A_n}^M$ we have

$$\left\langle \psi_{A_n}^M \right| (\hat{M} - \overline{M}[A_n])^2 \left| \psi_{A_n}^M \right\rangle \ll \delta\mathcal{M}[A_n], ..., \quad (9)$$

where $\overline{M}[A_n] = \left\langle \psi_{A_n}^M \right| \hat{M} \left| \psi_{A_n}^M \right\rangle$, and $\delta\mathcal{M}[A_n]$ is the error in "arrow" fixation. If the initial wave vector of the system S is the eigenvector of the operator $\hat{A}$ which corresponds to the eigenvalue A_k, then the result of the interaction between the system S and the device M should have the form

$$\left|\psi_{A_k}^S\right\rangle \left|\psi_0^M\right\rangle \to \left|\psi_{A_k}^S\right\rangle \left|\psi_{A_k}^M\right\rangle, \quad (10)$$

where $\left|\psi_0^M\right\rangle$ is the vector corresponding to the initial state of the device. The condition (10) is *necessary* for realizing a good measurement of the quantity $\mathcal{A}$ by the device M [8].

If

$$\left|\psi^S\right\rangle = \sum_l a_l \left|\psi_{A_l}^S\right\rangle, \quad (11)$$

then (10) and the linearity of the Schrödinger equation imply

$$\left|\psi^S\right\rangle\left|\psi_0^M\right\rangle \to \sum_l a_l \left|\psi_{A_l}^S\right\rangle\left|\psi_{A_l}^M\right\rangle. \tag{12}$$

Different terms of the superposition (12) correspond to classically different universes ("indications of the arrow" of the device $\mathcal{M} \equiv \overline{M}[A_l]$ are distinct for them). The basis $\left|\psi_{A_l}^S\right\rangle\left|\psi_{A_l}^M\right\rangle$ is preferable because for its vectors the conditions (5) are satisfied.

For the microsystem S the components of the preferable basis are eigenvectors of the operator $\hat{A}$: $\left|\psi_{A_k}^S\right\rangle$. The choice of components of the preferable basis is unique. Indeed, suppose that there exists another preferable basis $\left|\tilde{\psi}_m^S\right\rangle$ for the system S. Then the wave function of the whole system after measurements can be represented in the form

$$\left|\psi\right\rangle = \sum_m \tilde{a}_m \left|\tilde{\psi}_m^S\right\rangle\left|\tilde{\psi}_m^M\right\rangle, \tag{13}$$

where $\left|\psi_m^M\right\rangle$ are the vectors of the Hilbert space of the device. Expand $\left|\psi_{A_l}^S\right\rangle$ in a power series of $\left|\psi_m^S\right\rangle$:

$$\left|\psi_{A_l}^S\right\rangle = \sum_m c_m \left|\tilde{\psi}_m^S\right\rangle. \tag{14}$$

At least two of the coefficients c_{lm} essentially differ from zero because $\left|\psi_m^S\right\rangle \neq \left|\psi_{A_m}^S\right\rangle$ on A_m. Substituting (14) into the right-hand side of (12) and comparing the expression obtained with (13), we find

$$\left|\tilde{\psi}_m^M\right\rangle = \sum_l a_l c_{lm} \left|\psi_{A_l}^M\right\rangle \left(\sum_k \left|a_k\right|^2 \left|c_{km}\right|^2\right)^{1/2}. \tag{15}$$

It is easy to verify that $\left|\tilde{\psi}_m^M\right\rangle \notin \mathcal{H}_{A_l}^M$ for no A_l because for (15) the conditions (5) are not satisfied. Consequently, the basis $|\,\psi_m\rangle$ is not preferable.

5. CONCLUDING REMARKS

Above, setting the error $\delta\mathcal{M}^\alpha$ of the values of the classical observables $\mathcal{M}^\alpha$ we defined an ensemble of universes which can be considered as classically distinct non-interacting universes. The term "non-interacting" implies here that an interference influence of some universes upon others leads to corrections in $\mathcal{M}^\alpha$ smaller than $\delta\mathcal{M}^\alpha$ and cannot therefore be discovered. By decreasing $\delta\mathcal{M}^\alpha$ (i.e. increasing the accuracy of a classical device) we finally reach the values equal to the quantum mechanical dispersions $\delta\mathcal{M}_2^\alpha$ of the operators $\hat{M}^\alpha$ for

the states $|\psi_i\rangle \in \mathcal{H}_i^M$. The quantities $\delta\mathcal{M}_q^\alpha$ cannot be smaller than certain minimal values determined by the parameters of the system. This is due to non-commutativity of canonically conjugate operators, that is, to the uncertainty principle. The accuracy of a classical device cannot exceed the quantum-mechanical uncertainty of $\delta\mathcal{M}_q^\alpha$. If we decide to impart a more precise meaning to the operators $\hat{M}^\alpha$, we will have to consider the "device" in a quantum-mechanical manner.

The idea of reality as a set of ensembles of "non-interacting" universes is also meaningful in the absence of an observer. In this case, when quantum fluctuations $\delta\mathcal{M}_q^\alpha$ are small as compared with the mean values of the operators which characterize the states of macroscopic subsystems ($\delta\mathcal{M}_q^\alpha \ll \overline{M}^\alpha,...$) the quasiclassical approximation is valid, and for $\delta\mathcal{M}^\alpha$ it is natural to choose $\delta\mathcal{M}_q^\alpha$, that is, $\delta\mathcal{M}^\alpha \sim \delta\mathcal{M}_q^\alpha$. In this case different universes are weakly interacting. It is just in this case that the Hartle–Hawking wave function [5] can be interpreted as the one describing an ensemble of classically distinct universes [7].

If the dispersions of all the operators $\hat{M}^\alpha$ are comparable with the mean values (that is, $\delta M_q \sim M$) it is senseless to speak of *distinct* universes because corrections due to the interaction (the interference) for universes specified in an arbitrary way will exceed the accuracy of specification of these universes. It is more natural in this case to think of reality as of an ensemble of tightly bound universes without individual properties which would make them different from each other because the interference interaction is too strong.

REFERENCES

1. *Bohm D.* Quantum theory. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1951.

2. *Deutsch D.* // Intern. J. Theor. Phys. 1985. Vol. 24. P. 1.

3. *DeWitt B., Graham N.* The many-world interpretation of quantum mechanics. Princeton (N.Y.): Princeton Univ. press, 1973.

4. *Everett H.* // Rev. Mod. Phys. 1957. Vol. 29. P. 454.

5. *Hartle J.B., Hawking S.W.* // Phys. Rev. D. 1983. Vol. 28. P. 2960.

6. *Legett A.J.* // Contemp. Phys. 1984. Vol. 25. P. 583.

7. *Mukhanov V.F.* // Proc. 3rd seminar on quantum gravity, Moscow, 1984. Singapore, 1985.

8. *Neumann J. von.* Mathematical foundation of quantum mechanics. Princeton (N.Y.): Princeton Univ. press, 1955.

9. *Page D.N.* Information basis of statis for quantum measurement. Penn.-st. Univ., 1985. (Prepr. 85-0960).

10. *Schrodinger E.* // Naturwissenschaften. 1935. Bd. 23. S. 812.

11. *Zurek W.H.* // Phys. Rev. D. 1981. Vol. 24. P. 1516.

THROUGH A BLACK HOLE INTO A NEW UNIVERSE?*

One of the fundamental problems in classical general relativity is the problem of singularities which inevitably arise in the theoretical description of the collapse of a massive body (or the total universe) (see e.g. refs. [8, 25]). It is generally believed that the arising of these singularities is usually accompanied by an unlimited increase of the spacetime curvature. Under these conditions the classical Einstein equations are not applicable and one may hope that the proper account of quantum effects may avoid the singularities and hence may cure the disease of the classical theory. It means that quantum corrections or other reasons may drastically modify the properties of the solutions in the region where the curvature becomes large enough and hence change the global structure of spacetime. It is natural to assume that the curvature for the solutions of these modified equations is limited by some universal value $\sim l^{-2}$, where l plays the role of fundamental length. In what follows we suppose that $l \sim l_{\rm Pl} = (\hbar G/c^3)^{1/2} \sim 10^{-33}\,{\rm cm}$.

Unfortunately we do not know the exact modified equations yet and therefore cannot verify this assumption. But we can accept this assumption as a hypothesis and investigate its possible consequences.

Such an approach was suggested in ref. [1, 2, 21–23] for studying the collapse of the homogeneous isotropic universe. The aim of this paper is to study the possible structure of the spacetime inside a black hole in the framework of the hypothesis about the existence of a limiting curvature (see also ref. [10]).

We restrict ourselves by considering spherically symmetric black holes. It is instructive to first discuss the case of an eternal black hole and later to consider the more realistic situation of a black hole arising as a result of a gravitational collapse. We assume that the mass m of the black hole is large [$m \gg m_{\rm Pl} = (\hbar c/G)^{1/2} \sim 10^{-5}$ gr] and that it is invariable in time. In order to suppress the change of the mass due to the Hawking radiation one may assume that the black hole is surrounded by a thermal bath the temperature of which coincides with the black hole temperature.

The metric of a static (with the Killing vector $\xi = \xi^{\mu}\partial_{\mu} = \partial_t$) spherically symmetric spacetime can be written as follows:

$$ds^2 = -\frac{dr^2}{g(r)} + f(r)\,dt^2 + r^2 d\omega^2 = \varepsilon[-d\tau^2 + F(\tau)\,dt^2] + r^2(\tau)\,d\omega^2, \tag{1}$$

where $d\omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\varphi^2$ is the line element on a unit sphere, $g(r) \equiv \varepsilon\,|g(r)| = -\nabla r \cdot \nabla r$, $f = \xi^2$ and

$$d\tau = -|g(r)|^{-1/2} dr, \quad F(\tau) = f(r(\tau)). \tag{2}$$

(Here and later we use the units in which $G = c = \hbar = 1$.) One can verify that the Ricci tensor

* Phys. Lett. B. 1989. Vol. 216, N 3/4. P. 272–276. Co-authors *V.P. Frolov, V.F. Mukhanov.*

R^{ν}_{μ} for this metric obeys the inequality

$$4R^{\nu}_{\mu}R^{\mu}_{\nu} - R^2 \geqslant 0. \tag{3}$$

The left-hand side of eq. (3) vanishes if and only if

$$R^{\nu}_{\mu} = \Lambda\delta^{\nu}_{\mu}. \tag{4}$$

For the particular case of a spherically symmetric spacetime our main hypothesis about the existence of a limiting curvature may be presented in the form

$$\mathcal{R}^2 \equiv R_{\mu\nu\lambda\rho}R^{\mu\nu\lambda\rho} \leqslant \alpha / l^4, \tag{5}$$

where l is the characteristic (planckian) length and α is a dimensionless parameter of order one. One can verify that eq. (5) implies that the other possible invariants quadratic in curvature, $C^2 = C_{\alpha\beta\gamma\delta}C^{\alpha\beta\gamma\delta}$, $R_{\mu\nu}R^{\mu\nu}$ and R^2, are also positive and limited.

As a second hypothesis we assume that when the curvature reaches its maximum value the equation of state becomes of the vacuum-like type (4) or equivalently $R^2 = 4R^{\nu}_{\mu}R^{\mu}_{\nu}$.

Under these two hypotheses the metric (1) describing the spacetime of an eternal black hole allows the following specification. The Schwarzschild metric (i.e. eq. (1) with $g = f =$ $= -1 + 2m/r$) can be used to approximate the geometry for $r > r^0$, where

$$r_0 = (12/\alpha)^{1/6}(2m/l)^{1/3}l \tag{6}$$

is the value of the radius r at which the invariant $\mathcal{R}^2$ for the Schwarzschild metric reaches its limiting value α/l^4. For $2m \gg l$ one has $l \ll r_0 \ll 2m$. This means that the surface Σ_0 where $r = r_0$ is spacelike. It lies inside the event horizon and has the topology $S^2 \times R^1$, i.e. it is an infinite (in direction t) "tube" of radius r_0. Strictly speaking in order to describe the geometry of the spacetime outside and inside the event horizon (including the region near Σ_0) one must use a Kruskal-like analytical continuation of the Schwarzschild metric. But if we are interested in a description of the metric only in the vicinity of Σ_0 it is also possible (and much more convenient for our purpose) to use the Schwarzschild-like element (1) with $g = f > 0$ so that r is a timelike coordinate. It is worthwhile noting that for the case of a black hole inside a thermal bath the relation $2m \gg l$ implies also that the change of geometry due to the presence of the thermal radiation at $(m/l)^2 l \gg r \gg r_0$ can be neglected. As for the future evolution of the geometry for $\tau > \tau_0$ ($r < r_0$) we cannot specify the two unknown functions in eq. (1) until we know the exact field equations. Nevertheless our second hypothesis guarantees that beginning at some time moment $\tau_1 > \tau_0$ ($r_1 < r_0$) we can approximate these field equations by eq. (4). In the case of a spherically symmetric spacetime this means that the geometry is described by the de Sitter metric which can be written in the form (1) with $g = f = (r/l)^2 - 1$. Here $l = (\frac{1}{3}\Lambda)^{1/2}$ and if we assume that this length parameter l coincides with the parameter l in (5) then we have $\alpha = 24$.

In the general case the global structure of the spacetime under consideration may depend on the details of the transition region $\tau_0 < \tau < \tau_1$. But in the particular case when the duration

$\Delta\tau/\tau = \tau_1 - \tau_0$ of this transition is short ($\Delta\tau/l \sim 1$) only some of its integral characteristics become important. In the latter case one may consider this layer as "a thin massive shell" and sew the Schwarzschild metric ($\tau < \tau_0$) with the de Sitter one ($\tau > \tau_1$) using the approach developed by Israel [14, 15]. According to this approach we suppose that $r_0 = r_1$ and consider Σ_0 ($r = r_0 = r_1$) as a junction surface which separates the Schwarzschild and de Sitter geometries. The junction conditions at this surface require the three-geometries induced by both geometries to be identical while for the jumps of the external curvature $[K_n^m] \equiv (K_{\text{de Sitter}})_n^m - (K_{\text{Schwarzschild}})_n^m$ one has ($m, n = 1, 2, 3$)

$$[K_n^m] - \delta_n^m [K_l^l] \equiv -8\pi S_n^m, \tag{7}$$

where

$$S_n^m \equiv \int_{\tau_0}^{\tau_1} d\tau \, T_n^m. \tag{8}$$

The tensor T_μ^ν is the effective energy-momentum tensor which is defined in the transition layer as the right-hand side of the field equations written in a Einstein-like form.

In the case under consideration one has

$$\begin{aligned} &S_t^t = \frac{\lambda}{4\pi}, \quad S_\theta^\theta = S_\varphi^\varphi = \frac{\varkappa + \lambda}{8\pi}, \\ &\varkappa \equiv [K_t^t] = \frac{1}{r_0}[x^2(x^2-1)^{-1/2} + {1/2}\, y(y-1)^{-1/2}], \\ &\lambda \equiv [K_\theta^\theta] = -\frac{1}{r_0}[(y-1)^{1/2} - (x^2-1)^{1/2}], \end{aligned} \tag{9}$$

where $x = r_0/l$ and $y = 2m/r_0$. For $2m \gg l$ these relations read

$$\varkappa \simeq \frac{1}{2l}(\beta + 2), \quad \lambda \simeq -\frac{1}{l}(\beta - 1). \tag{10}$$

It is worthwhile noting the "large parameter" $2m/l$ does not enter these relations and hence there is no contradiction with our assumption that the time interval of the transition $\Delta\tau$ is short. Indeed if we suppose that in the transition layer T_μ^ν reaches the planckian value ($T_\nu^\mu \sim l^{-2}$) then the proper time duration $\Delta\tau$ of this layer estimated ad $\Delta\tau \sim S_n^m / T_n^m$ is comparable with the planckian time l.

The conformal Penrose diagram for the spacetime under consideration is presented in Fig. 1. For convenience we use the freedom in choice of the Kruskal coordinates in order to guarantee the same "coordinate form" of Σ_0 as it has in the de Sitter coordinates. The spacetime in the region lying in the future with respect to any Cauchy surface Σ in the Kruskal region is regular and complete. It should be noted that Σ is not a global Cauchy surface. Since $H_{\text{DS}}^{\pm}$ are Cauchy horizons such a global Cauchy surface does not exist at all.

Fig. 1. Conformal Penrose diagram for the spacetime of a spherically symmetric eternal black hole with a de Sitter space in its interior. Σ_0 is a junction surface which represents the thin transition layer $H^{\pm}$ are the event horizons of the black hole while $H^{\pm}_{DS}$ are the Cauchy horizons

The anisotropic (Kasner-like) contraction of space in the interior of the black hole changes into the de Sitter deflation which in its turn (at the surface Σ_1) changes into the inflationary de Sitter expansion. The surface Σ_1 has topology S^3 and in this sense the diagram presented in Fig. 1 describes the closed world formation inside the black hole.

The conformal diagram shown in Fig. 1 resembles to some extent the maximal analytical continuation of either Reissner–Nordström or Kerr metric in its structure. One of the main differences is that in our case one may expect the stability of the Cauchy horizons $H^{\pm}_{\mathrm{DS}}$ while the Cauchy horizons in Reissner–Nordström or Kerr spacetime were shown to be unstable [7, 11, 12] (see also ref. [6]). This instability is related to an infinite blue-shift of signals sent into the black hole from external space and registered by an observer crossing the Cauchy horizon. This effect combined with the classical or quantum radiation falling into a black hole will result in the divergence of T^{μ}_{ν} near the Cauchy horizon and its instability. In our case if only the hypothesis about the limiting curvature is valid, the backreaction of matter does not allow $\mathcal{R}^2$ and hence T^{μ}_{ν} to grow without limit and after the curvature reaches its limit we would have the de Sitter space. Hence we may expect that in our case there is no such instability. (A discussion of the structure of the black hole interior and the properties of the Cauchy horizons can be also found in ref. [16].)

Now we turn to a more realistic case in which the black hole arises as a result of a gravitational collapse. For simplicity we suppose that the collapsing matter does not possess pressure so that the metric inside it can be written in the form

$$ds^2 = -d\tau^2 + a^2(\tau)(d\chi^2 + \sin^2\chi\, d\omega^2), \tag{11}$$

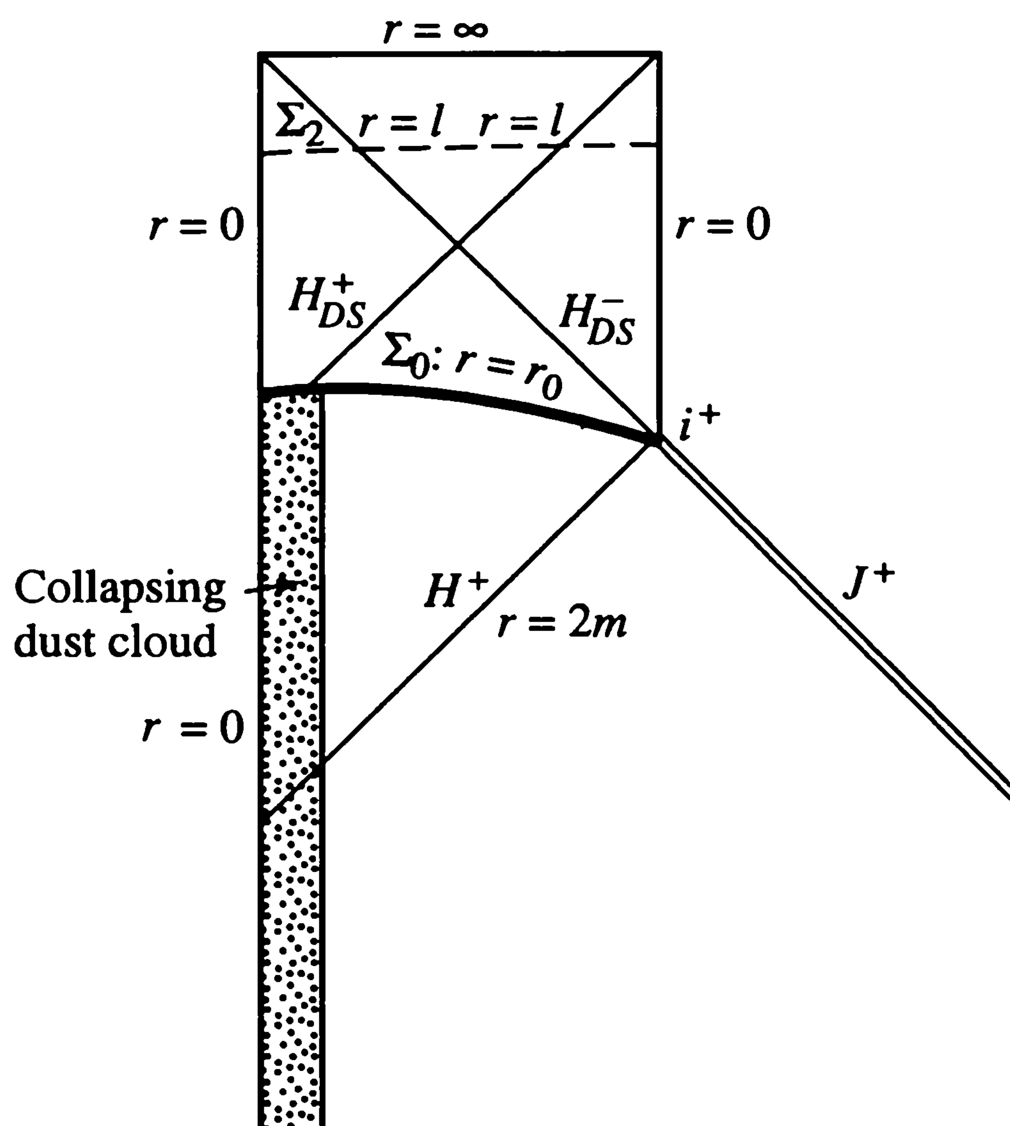


Fig. 2. Conformal Penrose diagram for the spacetime of a spherically symmetry black hole with arises as a result of the gravitational collapse of a dust cloud. Σ_0 is a junction surface which represents the thin transition layer. After thin layer lies the de Sitter space at the stage of deflation. H^+ is the event horizon and $H^{\pm}_{DS}$ at the Cauchy horizons

where

$$a(\tau) = a_0(1 - \cos\eta),$$
$$\tau = a_0(\eta - \sin\eta), \tag{12}$$

and $0 \leqslant \chi \leqslant \chi_0 < \frac{1}{2}\pi$. This metric can be used to approximate the geometry of a contracting dust cloud until the moment $\tau = \tau_0$ when

$$a \equiv \tilde{a} = (60/\alpha)^{1/6}(a_0/l)^{1/3}l. \tag{13}$$

At this moment the spacetime curvature inside the cloud $\mathcal{R}^2 = 60a_0^2/a^2$ reaches its limit α/l^4. According to our hypotheses some time later after the transition layer the geometry in the region occupied by matter would also become de Sitter-like. A more detailed analysis of the junction conditions at the surface which separate the matter, the vacuum outside the matter and the de Sitter phase allows one to describe the complete structure of the spacetime. The corresponding conformal Penrose diagram is shown in Fig. 2. It shows that the gravitational collapse produces a de Sitter-like universe inside the black hole which after the stage of deflation becomes inflationary so that the situation is quantitatively the same as in the case of an eternal black hole.

Let us discuss now what happens when the mass m of the black hole decreases due to the process of evaporation. The radiation of energy to infinity in this process is accompanied by a negative energy flux through the horizon inside the black hole. In order to initiate this situation we use the Vaidya metric [19, 27, 28] which we write in the form

$$ds^2 = f\,dv^2 + 2dv\,dr + r^2 d\omega^2,$$
$$f \equiv -\nabla r \cdot \nabla r = 2m(v)/r - 1. \tag{14}$$

This metric is the solution of the Einstein equations for the energy-momentum tensor

$$T_{\mu\nu} = \frac{1}{4\pi r^2}\frac{dm}{dv}v_{,\mu}v_{,\nu}, \tag{15}$$

which describes the radiation flux into the black hole. For $dm/dv < 0$ the energy density of this radiation is negative.

One can easily show that the curvature invariant $\mathcal{R}^2$ for the metric (14) reads $\mathcal{R}^2 = 48m^2(v)/r^6$ and hence the equation of the junction surface Σ_0 is $r = r_0(v) = (12/\alpha)^{1/6}[2m(v)/l]^{1/3}l$. This surface lies inside the apparent horizon ($f = 0$) until the advanced time reaches the value v_1 defined by the condition $r_0(v_1) = l/\beta$, where $\beta \equiv (\frac{1}{12}\alpha)^{1/4}$. If the evaporation ends before this time the resulting spacetime structure is qualitatively the same as the one presented in Fig. 2. In this case the black hole of a minimum possible mass $m_{\min} \geqslant \frac{1}{2}l$ remains ("maximon" [20] or "elementary black hole" [13]). If the final mass $m_{\min}$ is smaller than $\frac{1}{2}l$ then there arises a version of a "semiclosed" world. It is necessary to stress that the "massive thin shell" approach in such a situation becomes questionable and one must treat the results obtained in the framework of this approach with caution. If the stable "maximons" do not exist then one may expect that the remnant of the black hole may just disappear at the final stage of evaporation. This pure quantum effect would change the topology of space and hence it would not allow a regular classical description.

Now we briefly discuss the possible fate of the de Sitter world which according to our model may be present in the interior of a black hole. First of all it should be noted that the de Sitter space is usually unstable [3, 4, 11, 18, 26]. It seems likely that if the hypothesis about the existence of a limiting curvature is valid then such an instablility at the stage of deflation might by suppressed. There is a possibility that at the end of the deflation when the closed world has planckian dimensions it can just disappear in the process of quantum annihilation. If this does not happen then the decay of this world which begins its inflationary expansion may create a new macroscopic universe in the same manner as it happens in the usual inflation models [3, 4, 17, 18, 26]. The result of this decay depends on the effective hypersurface on which it occurs and hence on the nature of the Λ-term. In particular one may expect that a new closed Friedmann universe will arise as a result of this process. In this case the de Sitter space decays on some hypersurface Σ_2 (see Fig. 2). The spacetime in the future with respect to Σ_2 will coincide with the spacetime of an expanding closed Friedmann universe. Another possibility is the creation of a white hole in a new asymptotically flat universe which lies in the absolute future with respect to the original asymptotically flat space.

The model considered may be interpreted as "the creation of the universe in a laboratory" via a black hole which may be formed by contraction of matter up to high density. This conclusion contradicts the theorem of ref. [9]. The reason is that in our case the assumptions of this theorem (in particular the existence of a global Cauchy surface as well as the condition of energodominance) may be violated. (Another possibility of violating this theorem was discussed in ref. [24].)

In conclusion, it should be stressed once again that the consideration in this paper is based on rather restrictive assumptions about the properties of the effective gravitational equations at high curvatures. There exist various possibilities to violate our assumptions. For example at small distances it may become important that the dimensionality of real spacetime is higher than four. Nevertheless we hope that the model described with a closed world in the interior of a black hole may be useful and that this picture or its main features will survive in a future theory. If this happens then the possibility (which was discussed earlier in connection with the Reissner–Nordström or Kerr spacetime) "to travel" from our universe into a new one which is the absolute future with respect to us may still be open.

REFERENCES

1. *Аман Е.Г., Марков М.А.* // ТМФ. 1984. Т. 58. С. 97.
2. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 214.
3. *Муханов В.Ф., Чибисов Г.В.* // Там же. 1981. Т. 33. С. 532.
4. *Муханов В.Ф., Чибисов Г.В.* // ЖЭТФ. 1982. Т. 56. С. 258.
5. *Новиков И.Д., Старобински А.А.* // Там же. 1980. Т. 78. С. 3.
6. *Новиков И.Д., Фролов В.П.* Физика черных дыр. М.: Наука, 1986.
7. *Chandrasekhar S., Hartle J.B.* // Proc. Roy. Soc. London. A. 1982. Vol. 384. P. 301.
8. *Ellis G.F.R., Hawking S.W.* // The large scale structure of space-time. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1973.
9. *Farhi E., Guth A.H.* // Phys. Lett. B. 1987. Vol. 183. P. 149.
10. *Frolov V.P., Markov M.A., Mukhanov V.F.* Black holes as possible sources of closed and semiclosed worlds. Trieste, 1988. (Prepr. / ICTP; IC/88/91).
11. *Gürsel Y., Novikov I.D., Sandberg V.D., Starobinsky A.A.* // Phys. Rev. D. 1979. Vol. 19. P. 413.
12. *Gürsel Y., Novikov I.D., Sandberg V.D., Starobinsky A.A.* // Ibid. Vol. 20. P. 1260.
13. *Hawking S.W.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1971. Vol. 152. P. 75.
14. *Israel W.* // Nuovo cim. B. 1966. Vol. 44. P. 1.
15. *Israel W.* // Ibid. 1967. Vol. 48. P. 463.
16. *Israel W., Poisson E.* Structure of black hole nucleus: Preprint / Univ. of Alberta. Edmonton, 1988.
17. *Linde A.D.* // Phys. Lett. B. 1982. Vol. 108. P. 389.
18. *Linde A.D.* // Ibid. 1983. Vol. 129. P. 177.
19. *Lindquist R.W., Schwarz R.A., Misner C.W.* // Phys. Rev. 1965. Vol. 137. P. 1364.
20. *Markov M.A.* // Prog. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa. P. 85.
21. *Markov M.A.* // Ann. Phys. 1984. Vol. 155. P. 333.
22. *Markov M.A.* // Proc. 3rd seminar on quantum gravity. Moscow, 1984. Singapore, 1985.
23. *Markov M.A., Mukhahov V.F.* // Nuovo cim. B. 1985. Vol. 86. P. 163.
24. *Novikov I.D.* // Proc. Workshop on active galactic nuclei. Santa Barbara, 1987.
25. *Penrose R.* // Structure of space-time. N.Y.; Amsterdam: Benjamin, 1968.
26. *Starobinsky A.A.* // Phys. Lett. B. 1980. Vol. 91. P. 99.
27. *Vaidya P.C.* // Phys. Rev. 1951. Vol. 83. P. 10.
28. *Vaidya P.C.* // Proc. Ind. Acad. Sci. A. 1951. Vol. 33. P. 264.

BLACK HOLES AS POSSIBLE SOURCES OF CLOSED AND SEMICLOSED WORLDS*

1. INTRODUCTION

One of the fundamental problems in classical general relativity is the problem of singularities which inevitably arise in the theoretical description of a massive body (or total Universe) collapse (see, e.g., refs. [13, 42]). It is generally believed that the appearance of these singularities is usually accompanied by an unlimited increase of spacetime curvature. The singularities in general relativity are usually considered as "a disease" of this classical theory which may be "cured", e.g., by its quantization [40]. There are some reasons for this point of view. It is evident that the classical Einstein equations are not applicable at high curvatures because the quantum corrections to these equations at the Planck curvature become of the same order as the main terms in the equations for the gravitational field. The true effective equations including these "corrections" are still unknown and one may only guess the possible general properties of these equations and their possible consequences. If we believe that the singularities are an artifact of Einstein's theory and they will not be present in the future complete theory it is also reasonable to assume that the curvature for any solution for this theory must be restricted by some maximum limiting value.

The following more general argument is also in favor of this assumption. The quantum fluctuations of a metric at Planck scales $l_{Pl} = (G\hbar / c^3)^{1/2} \sim 10^{-33}$ cm may lead to a radical change of the usual concept of spacetime at high curvatures. It may happen that the notions of time, length, curvature, and so on, lose their sense under these conditions [40, 47]. In this case the time intervals less than the Planckian one $t_{Pl} \sim l_{Pl} / c \sim 10^{-43}$ sec, the corresponding lengths and extremely high curvatures (higher than the Planckian curvature $\sim 1 / l_{Pl}^2$) have no physical meaning. In order to be able to use the habitual notions of space and time one must operate with the effective metric which arises as a result of averaging over scales larger than l_{Pl}. It is natural to expect that the curvature for this effective metric will never exceed the Planckian curvature $\sim 1 / l_{Pl}^2$. Of course we do not know yet the exact modified equations for this effective metric and cannot verify this assumption. But we can accept this assumption as a hypothesis and investigate its possible consequences [1, 3, 36, 37, 39].

If we accept this hypothesis the following question inevitably arises. If spacetime curvature is restricted and curvature singularities do not arise, what is a black hole interior structure? The aim of this paper is to analyze the possible spacetime structure inside a black hole in the framework of the hypothesis on the existence of limiting curvature. We do not suggest any concrete choice of field equations but analyze the general properties of spherically symmetric metrics which may describe the black hole interior under the assumption that this hypothesis is valid. Our main result is the demonstration that a closed (or semiclosed) world may arise instead of the singularity inside the black hole. This world

* Phys. Rev. D. 1990. Vol. 41, N 2. P. 383–394. Co-authors *V.P. Frolov, V.F. Mukhanov*.

may give birth to a new expanding macroscopic universe [19]. We now briefly describe the main features of such models.

We consider a black hole which arises as a result of a spherically symmetric gravitational collapse. In the framework of standard 3+1 splitting, the spacetime inside the black hole out of the collapsing matter can be described as an evolution of anisotropic homogeneous three-dimensional space. According to the vacuum Einstein equations the contraction of this space in two directions is accompanied by expansion in the third direction so that spacetime has Kasner-type asymptotic behavior near the singularity. Such behavior is a consequence of the classical vacuum Einstein equations which are valid until the spacetime curvature becomes comparable to the Planckian one. Particle creation and vacuum polarization may change this regime. Quite general arguments allow one to assume that the quantum effects may result in a decrease of the spacetime anisotropy [24, 29, 48]. Poisson and Israel [32] have shown that the anisotropy may be damped during this plase of contraction while the curvature tensor remains of the order of the Planckian value. Unfortunately one cannot hope to prove this result rigorously without knowing the physics at the Planck curvatures. In our model we just assume that the isotropization really takes place and the time required for this process is short and is comparable to the Planck time $\tau_{Pl} \sim l_{Pl} / c$. In order to make our consideration more concrete we assume also at first that the effective equation of state in such a resulting isotropic space of the Planck curvature coincides with the vacuum-like equation of state: $T_{\mu}^{\nu} \sim \Lambda\delta_{\mu}^{\nu},\ \Lambda \sim l^{-2}$. This equation of state is generally covariant. It is the simplest possible one violating the energydominance condition and hence makes it possible to escape singularities. It is interesting to note, for example, that this de Sitter-type behavior corresponding to the vacuum-like equation of state arises naturally in the consideration of Poisson and Israel [32].

Under the described assumptions we show that the de Sitter-type world at the stage of its deflation arises inside the black hole. It should be stressed that the described possibility of the junction of the de Sitter-type interior through the transition layer to the Schwarzschild–Kruskal geometry looks rather remarkable and was not considered earlier. The described model may be considered as an example of the "new Universe creation in the laboratory". This example does not contradict the results by Farhi and Guth [14] because their main assumptions are violated in our model. Our consideration shows that a formation of a black hole can be accompanied by the creation of baby universes without violation of any known fundamental physical laws.

For this particular simple model with the de Sitter-type interior one can trace the details of the future evolution of the closed (or semiclosed) world arising inside the black hole which after the stage of deflation may begin inflating. It is important to stress that the main features of the model (e.g., the existence of a closed or semiclosed world in the black hole interior) are not directly connected with the assumption about a de Sitter-type equation of state at the limiting curvature and may be valid in more general situations. Some more general models are also discussed in this paper.

The paper is organized as follows. We begin by considering the general properties of spherically symmetric spacetimes and by giving a more accurate formulation of our "limiting curvature" hypothesis in such spaces (Section 2). In the framework of this hypothesis we discuss the possible structure of the spacetime inside an eternal non-rotating black hole.

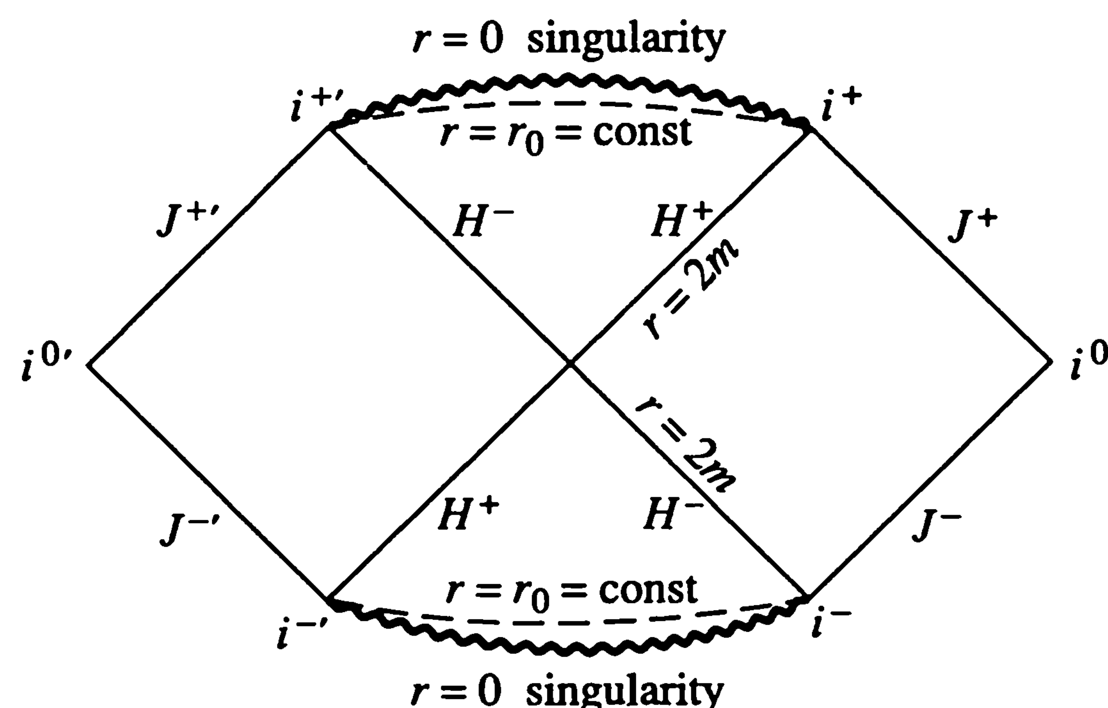


Fig. 1. Conformal diagram for the spacetime of an eternal black hole

Although the model of the eternal black hole (i.e., the black hole which was not formed by gravitational collapse but exists forever) is oversimplified, it appears to be useful when considering more realistic (but more complicated) situations. A more realistic case of a black hole which arises as a result of the ravitational collapse is considered in Section 3. Section 4 is devoted to the discussion of possible final states of evaporating black holes. The "future evolution" of the black hole interior and the possibility of creation of a new macroscopic Universe inside a black hole are discussed in Section 5. It also contains some general remarks concerning the main features of our model. The formulas of the thin-massive shells approach used in the paper and the details of calculations are collected in Appendixes.

In this paper we use the sign conventions of Misner, Thorne, and Wheeler [40] and Planck's units.

2. ETERNAL BLACK HOLE INTERIOR

A. Limiting-curvature hypothesis in a spherically symmetric spacetime

We restrict ourselves by considering spherically symmetric black holes. It is instructive first to discuss the case of an eternal black hole and later to consider a more realistic situation when the black hole arises as a result of a gravitational collapse. The conformal Penrose diagram for the spacetime of such an eternal black hole is shown in Fig. 1. We assume that the mass m of the black hole is large ($m \gg m_{\mathrm{Pl}} \sim 10^{-5}$ gr) and is invariant in time. In order to suppress the change of the mass due to Hawking radiation one may assume that the black hole is surrounded by a thermal bath, the temperature of which coincides with the black hole temperature.

The metric of a static (with the Killing vector $\xi = \xi^{\mu}\partial_{\mu} = \partial_t$) spherically symmetric spacetime can be written as

$$ds^2 = -g(r)^{-1}dr^2 + f(r)dt^2 + r^2 d\omega^2 = \varepsilon[-d\tau^2 + F(\tau)dt^2] + r^2(\tau)d\omega^2, \tag{2.1}$$

where $d\omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\phi^2$ is a line element on a unit sphere and

$$g(r) \equiv \varepsilon |g(r)| = -\nabla r \cdot \nabla r, \quad f(r) = \xi^2,$$
$$d\tau = -|g(r)|^{-1/2} dr, \quad \varepsilon F(\tau) = f(r(\tau)). \tag{2.2}$$

One can verify that the Ricci tensor R^ν_μ for this metric is diagonal $R^\nu_\mu = \mathrm{diag}(R^0_0, R^1_1, R^2_2, R^3_3)$, and obeys the inequality

$$4R^\nu_\mu R^\mu_\nu - R^2 \equiv (2R^2_2 - R^0_0 - R^1_1)^2 + 2(R^0_0 - R^1_1)^2 \geqslant 0. \tag{2.3}$$

The left-hand side of eq. (2.3) vanishes if and only if

$$R^\nu_\mu = \Lambda\delta^\nu_\mu. \tag{2.4}$$

For a particular case of a spherically symmetric spacetime our main hypothesis about the existence of the limiting curvature may be presented in the form

$$\mathcal{R}^2 \equiv R_{\alpha\beta\gamma\delta} R^{\alpha\beta\gamma\delta} \leqslant \alpha l^{-4}, \tag{2.5}$$

where l is the characteristic (Planckian) length and α is a dimensionless parameter comparable to one. One can verify that eq. (2.5) implies that the other possible quadratic-in-curvature invariants $C^2 \equiv C_{\alpha\beta\gamma\delta}C^{\alpha\beta\gamma\delta}$, $R^\nu_\mu R^\mu_\nu$, and R^2 are also positive and limited.

In order to make our consideration more concrete we assume at first (and this is our second hypothesis) that when the curvature reaches its maximum value the equation of state becomes of the vacuumlike type (2.4) or equivalently $R^2 = 4R^\mu_\nu R^\nu_\mu$. (A more general model for which this assumption is violated will be considered later in Section 2, D.)

Under these two hypothesis the metric (2.1) describing the spacetime of an eternal black hole allows the following specification. The Schwarzschild metric [i.e., eq. (2.1) with $g(r) = f(r) = 2mr^{-1} - 1$] can be used to approximate the geometry for $r \gtrsim r_0$, where

$$r_0 = (12/\alpha)^{1/6}(2m/l)^{1/3} l \tag{2.6}$$

is the value of the radius r at which the invariant $\mathcal{R}^2 = 48m^2r^{-6}$ for the Schwarzschild metric reaches its limiting value αl^{-4}. For $2m \gg l$ one has $l \ll r_0 \ll 2m$. The inequality $r_0 \gg l$ indicates that when describing the geometry of spacetime at $r \leqslant r_0$ (up to $r \sim l$) one may use the classical metric $g_{\mu\nu}$ and neglect its quantum fluctuations. The inequality $r_0 \ll 2m$ means that the surface Σ_0 (where $r = r_0$) is spacelike. It lies inside the event horizon (see Fig. 1) and has a topology $S^2 \times R^1$; i.e., it is an infinite (in direction t) "tube" of a radius r_0. Strictly speaking in order to describe the geometry of the spacetime out and inside the event horizon (including the region near Σ_0) one must use the Kruskal-type analytical continuation of the Schwarzschild metric. But if we are interested in a description of the

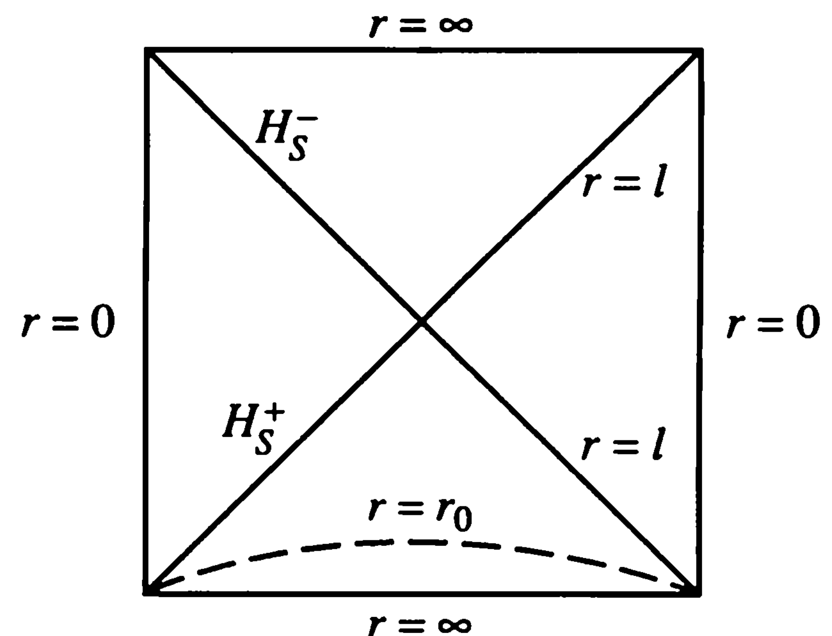


Fig. 2. Conformal diagram for de Sitter spacetime

metric only in the vicinity of Σ_0 it is also possible (and much more convenient for our purpose) to use the Schwarzschild-type element (2.1) with $g=f>0$ so that r is a timelike coordinate. It is worthwhile noting that for the case of a black hole inside the thermal bath the relation $2m \gg l$ implies also that the change of the geometry due to the presence of the thermal radiation at $(2m/l)^2 \gg r \gg r_0$ can be neglected. As for the future evolution of geometry for $\tau > \tau_0$ ($r < r_0$) we cannot specify two unknown functions in eq. (2.1) until we know the exact field equations. Nevertheless our second hypothesis guarantees that beginning with some time moment $\tau_1 > \tau_0$ ($r_1 < r_0$) we can approximate these field equations by eq. (2.4). In the case of a spherically symmetric spacetime it means that the geometry is described by the de Sitter metric which can be written in the form (2.1), with $g(r)=f(r)=(r/l)^2-1$, where $l=(\Lambda/3)^{-1/2}$. Thus the geometry of this region coincides with a part of the complete de Sitter space. The standard conformal Penrose diagram for the complete de Sitter spacetime is shown in Fig. 2. If we assume that the length parameter l in the de Sitter solution coincides with the parameter l in (2.5) then we would have $\alpha = 24$.

B. Transition layer and "massive thin shell" approximation

In the general case the global structure of the spacetime under consideration may depend on details of the evolution in the transition layer $\tau_0 < \tau < \tau_1$. In the particular case when the duration $\Delta\tau = \tau_1 - \tau_0$ of this transition regime is short ($\Delta\tau \sim l$) only some of its integral characteristics become important. In the latter case one may consider this layer as a "thin massive shell" and to sew the Schwarzschild metric ($\tau < \tau_0$) with the de Sitter one ($\tau > \tau_1$) using an approach developed by Israel [30, 31]. (This method is discussed in detail in ref. [40]; see also Appendix A of this paper where the necessary formulas are collected.) It should be stressed that one of the main features of our problem is using a spacelike "shell" to describe the geometry evolution during the transition regime; meanwhile, timelike and null shells representing the motion of some real matter are usually considered (see, e.g., ref. [9]).

According to the "thin shell" approach we assume that $r_1 = r_0$ and consider Σ_0 ($r = r_0$) as a junction surface which separates the Schwarzschild and de Sitter geometries. The junction conditions at this surface require that (i) the three-geometries induced on Σ_0 by both (Schwarzschild and de Sitter) four-geometries are identical and (ii) the jumps $[K_n^m]$ on the external curvature K_n^m $(m, n = 1, 2, 3)$

$$[K_n^m] \equiv (K_n^m)_{\text{de Sitter}} - (K_n^m)_{\text{Schwarzschild}} \tag{2.7}$$

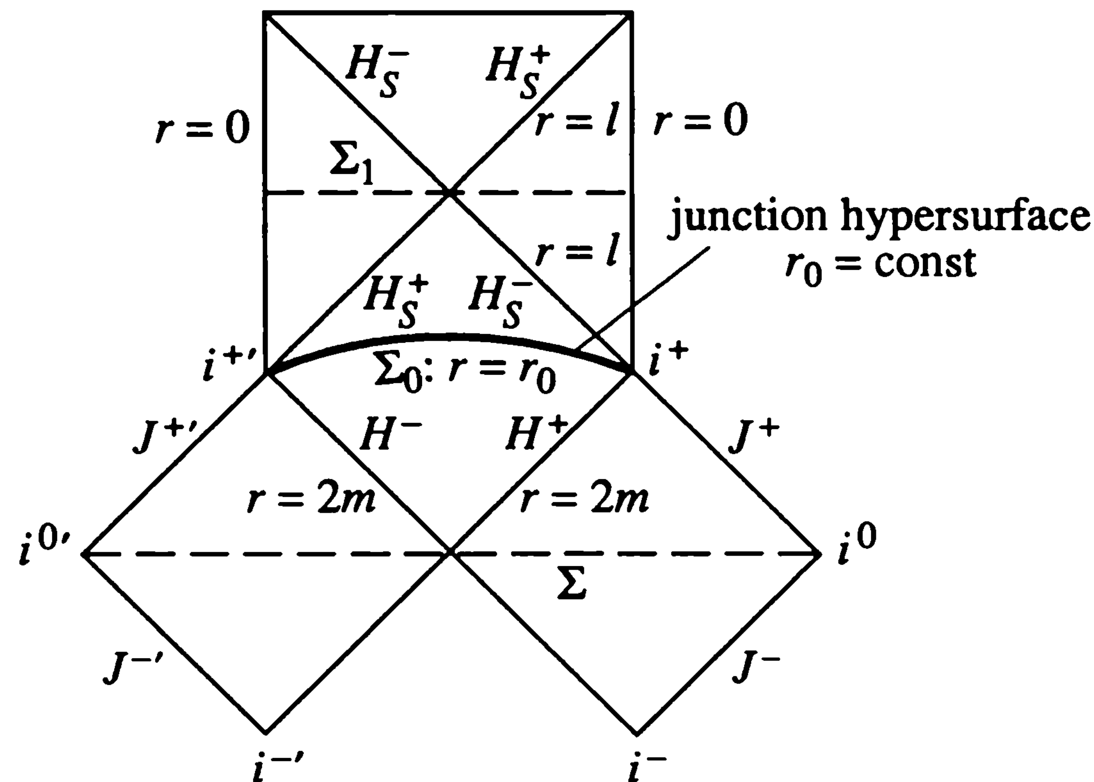


Fig. 3. Conformal diagram for an eternal black hole with the de Sitter-type world in its interior. The surface Σ_0 where $r = r_0$ = const is a junction surface which represents a short transition layer. After passing this surface the anisotropic Kasner-type contraction of space inside the black hole is changed into the isotropic de Sitter contraction (deflation). The surface Σ_1 corresponds to the moment of "minimal size" of the de Sitter world. After passing this surface the de Sitter world begins its inflationary expansion

obey the relation

$$[K_n^m] - \delta_n^m [K_k^k] = -8\pi S_n^m, \tag{2.8}$$

where

$$S_n^m = \int_{\tau_0}^{\tau_1} d\tau T_n^m. \tag{2.9}$$

The tensor T_μ^ν is the effective energy-momentum tensor which is defined in the transition layer as the right-hand side of the modified gravitational field equations written in the Einstein-type form

$$G_\mu^\nu \equiv R_\mu^\nu - \tfrac{1}{2}\delta_\mu^\nu R = 8\pi T_\mu^\nu. \tag{2.10}$$

The junction condition (i) can be easily met because the forms of the Schwarzschild and de Sitter metrics in the (t, r, θ, ϕ) coordinates are identical. The junction condition (ii) gives (see Appendix B)

$$S_t^t = \lambda / 4\pi,$$
$$S_\theta^\theta = S_\phi^\phi = (\varkappa + \lambda)/8\pi, \tag{2.11}$$
$$S_r^r = 0;$$

$$\varkappa \equiv [K_t^t] = \frac{r_0}{l^2}\left[\left(\frac{r_0}{l}\right)^2 - 1\right]^{-1/2} + \frac{m}{r_0^2}\left(\frac{2m}{r_0} - 1\right)^{-1/2},$$

$$\lambda \equiv [K_\theta^\theta] = \frac{1}{r_0}\left\{\left[\left(\frac{r_0}{l}\right)^2 - 1\right]^{-1/2} - \left(\frac{2m}{r_0} - 1\right)^{-1/2}\right\}. \tag{2.12}$$

For $2m \gg l$ these relations read

$$\varkappa \simeq l^{-1}(1+\beta/2),$$
$$\lambda \simeq l^{-1}(1-\beta), \tag{2.13}$$
$$\beta \equiv (\alpha/12)^{1/4}.$$

It is worthwhile noting that the "large parameter" $2ml^{-1}$ does not enter these relations so that $S_m^n \sim l^{-1}$ and hence there is no contradiction with our assumption that the proper time interval $\Delta\tau$ of the transition is short. Undeed if we suppose that T_ν^μ in the transition layer reaches the Planckian value ($T_\nu^\mu \sim l^{-2}$) then the proper time duration of this layer can be estimated as $\Delta\tau \sim S_n^m / T_n^m$ and it is comparable with the Planckian time l.

It is interesting to note that the expressions (2.12) are greatly simplified for a particular choice $\alpha = 12$. In this case,

$$\lambda = 0, \quad \varkappa = \frac{3}{2l}\frac{\gamma}{\sqrt{\gamma^2 - 1}}, \quad r_0 = \gamma l, \tag{2.14}$$

where $\gamma = (2m/l)^{1/3}$. Although this choice is rather natural we cannot exclude other values for α. That is why in what follows we shall not specify the values of α.

C. Properties of the model. Deflation

The conformal Penrose diagram for the spacetime under consideration is shown in Fig. 3. It can be obtained from diagrams shown in Figs. 1 and 2 by removing the part $r > r_0$ (for the de Sitter space) and the part $r < r_0$ (for the eternal black hole) and by subsequent gluing diagrams together along the hypersurface $\Sigma_0(r = r_0)$. For convenience the freedom of the choice of the Penrose conformal coordinates for the spacetime of the eternal black hole (see Fig. 1) is used in order to guarantee the same "coordinate form" of Σ_0 in this diagram as it has in the diagram for the de Sitter space (see Fig. 2).

Now let us consider the properties of the spacetime in our model in more detail. First of all it should be noted that the spacelike surface Σ_0 is located in the T-region: i.e., in the region where $\nabla r \cdot \nabla r < 0$ (it is also known as the domain of trapped surfaces [10]). In this region the radial coordinate r is decreasing along any future-directed causal curve. For

$r \ll 2m$ the Schwarzschild metric can be approximated as

$$ds^2 \simeq -d\tau^2 + (-3\tau/4m)^{-2/3} dt^2 + (-3\tau/4m)^{4/3}(2m)^2 d\omega^2. \quad (2.15)$$

It describes the Kasner-type contraction of spacetime inside the black hole. As the proper time $\tau(<0)$ grows the radius $r \sim (-\tau)^{2/3}$ decreases, while the scale along the t direction increases as $(-\tau)^{-1/3}$. After passing the surface Σ_0 (representing the transition layer) this anisotropic contraction turns into the isotropic de Sitter contraction. Using the relation $r = l\cosh(-\tau/l)$ one can rewrite the de Sitter metric in the form

$$ds^2 = -d\tau^2 + \sinh^2(-\tau/l)dt^2 + l^2\cosh^2(-\tau/l)d\omega^2. \quad (2.16)$$

At this stage the rate of contraction decreases while the scale parameter characterizing the isotropic contraction in shanging as $\sim \exp(-\tau/l)$. This type of evolution is just the opposite to that known in cosmology as inflation. That is why we call it defiation. At the deflation stage the radius r decreases from r_0 to l. The proper time $\tau_0 \sim l\ln(2m/l)$ of this evolution is greater than the analogous time in the Schwarzschild spacetime where $\tau_0 \sim l$.

The coordinates (τ, t, θ, ϕ) do not cover the complete de Sitter space. The metric (2.16) in these coordinates has a coordinate singularity at $\tau = 0$ which corresponds to the null surfaces $H_S^{\pm}$ where $r = l$ and $\nabla r \cdot \nabla r = 0$. The spacetime in the future of the surface Σ (see Fig. 3) is regular. It should be stressed that Σ is not a global Cauchy surface. Since $H_S^{\pm}$ are the Cauchy horizons such a global Cauchy surface does not exist at all.

The conformal diagram in Fig. 3 resembles to some extent the maximal analytical continuation of either Reissner–Nordström or Kerr metric in its structure. One of the main differences is that in our case one may expect the stability of the Cauchy horizons $H_S^{\pm}$ while the Cauchy horizons in Reissner–Nordström or Kerr spacetime are shown to be unstable [6, 11, 20, 21] (see also ref. [7]). This instability is related to an infinite blueshift of signals sent into the black hole from external space and registered by an observer crossing the Cauchy horizon. This effect combined with the classical or quantum radiation falling down

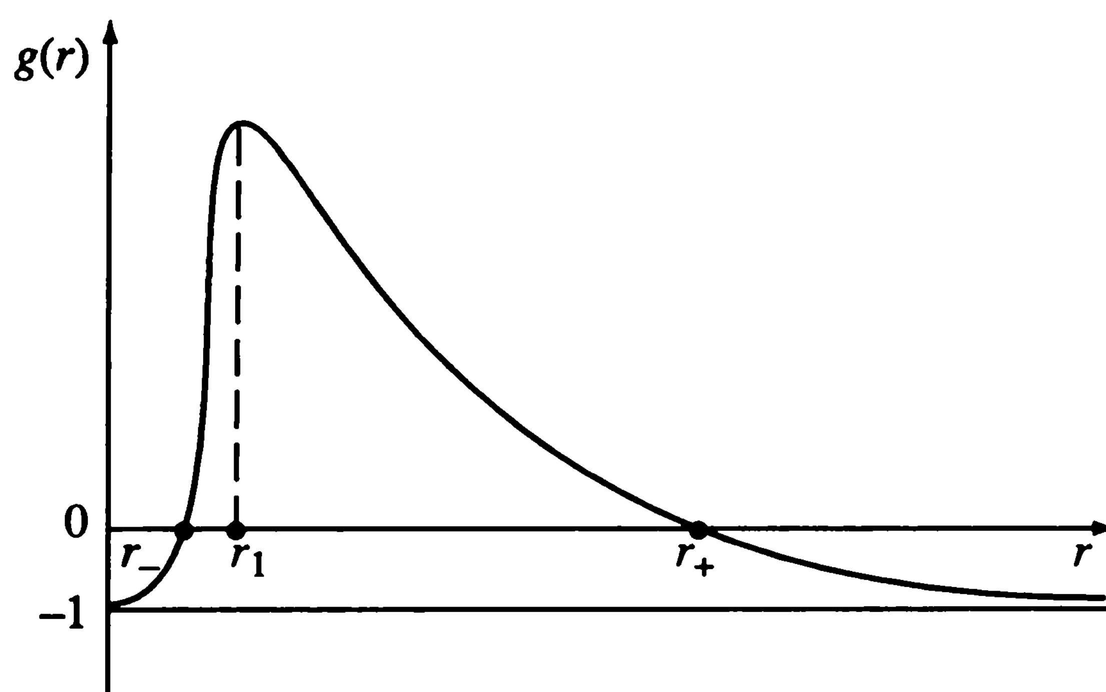


Fig. 4. The function $g(r) = -\nabla r \cdot \nabla r$

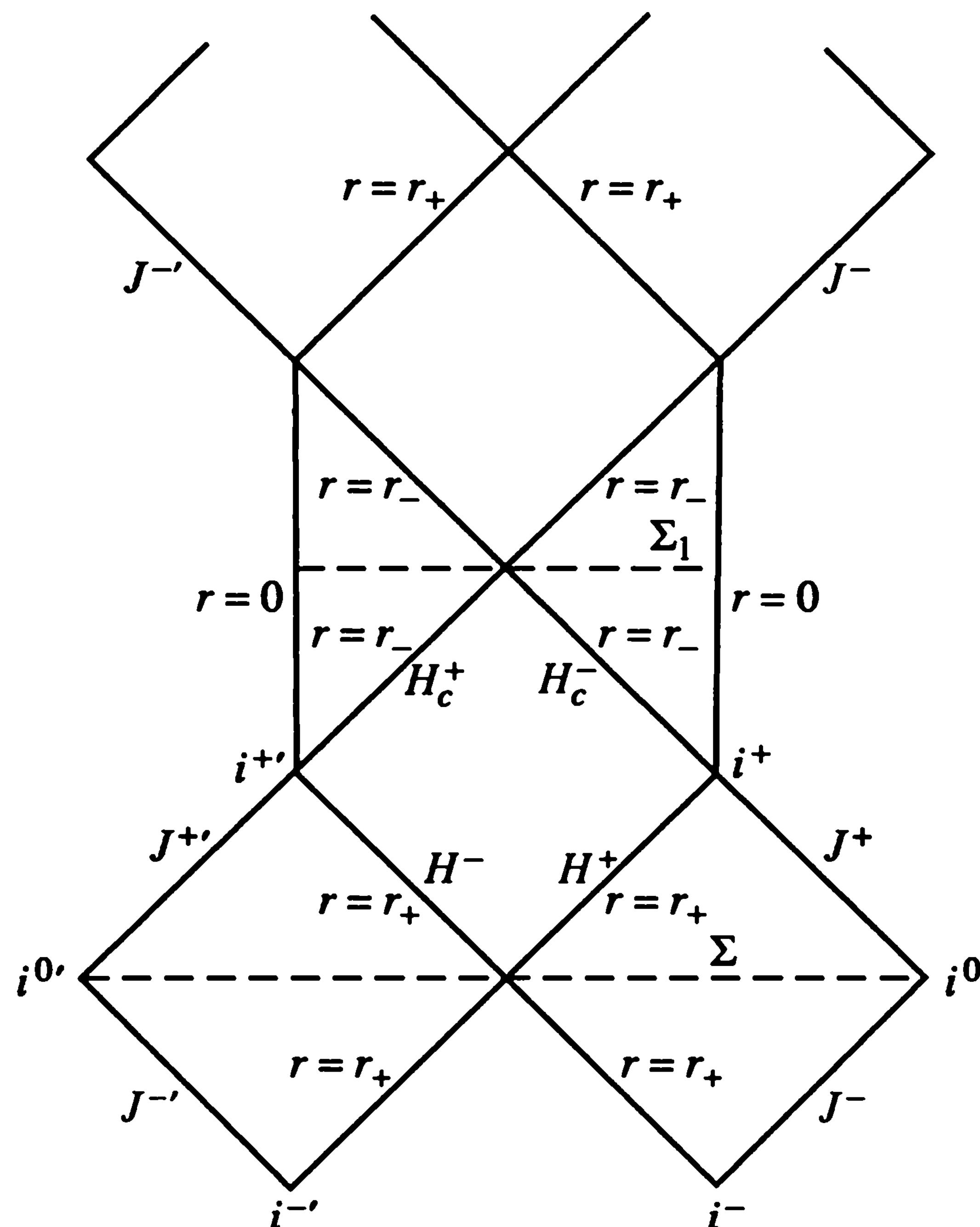


Fig. 5. Conformal diagram for the complete spherically symmetric spacetime which corresponds to the metric (2.1) *with $f = g$ for the function $g(r)$ shown in Fig. 4*

into a black hole will result in the divergence of T_μ^ν near the Cauchy horizon and its instability. In our case if only the hypothesis about the limiting curvature existence is valid the back reaction of the matter does not allow $\mathcal{R}^2$ (and hence T_μ^ν) to grow without limit and after the curvature reaches its limits we would have the de Sitter-type space. Hence we may expect that in our case there is no such instability.

The T_--region is bounded by the event horizons $H^\pm$ and by the Cauchy horizons $H_S^\pm$. Beyond the T_--region (at a surface Σ_1) the deflation changes into the de Sitter inflationary expansion. The surface Σ_1 has topology S^3 and in this sense the diagram presented in Fig. 3 describes the closed-world formation inside the black hole. A possible future fate of this world is discussed in Section 5.

D. Closed-world formation inside the black hole and asymptotic freedom

Before considering the interior of a black hole which arises as a result of a gravitational collapse we make a few general remarks. The model described above is based on the assumption that the equation of state at the limiting curvature is de Sitter-type and the transition layer is short. Now we show that our main conclusion about the possibility of the

closed-world formation inside the black hole is not directly connected with both these assumptions and may be valid in a more general situation.

Let us write down the function $g(r) \equiv -\nabla r \cdot \nabla r$ which enters the line element (2.1) in the form

$$g(r) = \frac{2m(r)}{r} - 1,$$

then the field equations (2.10) give

$$\frac{dm}{dr} = -4\pi r^2 T_t^t, \tag{2.17a}$$

$$\frac{d}{dr}\ln\left(\frac{f}{g}\right) = \frac{8\pi r}{g}(T_t^t - T_r^r). \tag{2.17b}$$

The mass function $m(r)$ corresponding to the model with the short transition layer described above can be written as

$$m(r) = m\theta(r - r_0) + \frac{r^3}{2l^2}\theta(r_0 - r). \tag{2.18}$$

It is constant beyond $r > r_0$ and may have jump at $r = r_0$. This jump describes the contribution of the matter in the transition layer to the total mass of the black hole. For the particular choice $\alpha = 12$ [see eq. (2.14)] the mass function is continuous at $r = r_0$. The value $m(r)$ at $r = 0$ vanishes. Eq. (2.17b) shows that $f = g$ everywhere.

One can easily generalize this model by assuming that $m(r)$ is an increasing smooth function of r with the asymptotic behavior

$$m(r) \sim \begin{cases} r^3/2l^2, & r \ll l, \\ m, & r \gg r_0. \end{cases} \tag{2.19}$$

The corresponding function $g(r)$ is schematically shown in Fig. 4. This function possesses two zeros: $r_+ \simeq 2m$ and $r_- \simeq l$ and its maximum is at $r = r_1$. If in addition we choose $f(r) = g(r)$ (and hence $T_t^t = T_r^r$) then the geometry of spacetime is uniquely determined. The Penrose conformal diagram for such spacetime is schematically shown in Fig. 5. This diagram in many respects resembles the one given in Fig. 3. The spacetime contains a closed-world inside the black hole. After the deflation stage the size of this world may become comparable with l. In the general case this closed-world is nonhomogeneous and anisotropic. It may be completely homogeneous and isotropic only if $m(r) = r^3/2l^2$ beginning with some value $\tilde{r}_0 (> l)$. If this value $\tilde{r}_0$ is close enough to r_0 then the solution reproduces all the main features of our model with the short transition layer. It is interesting to note that the mass function obeying conditions (2.19) naturally arises in a simple model considered by Poisson and Israel [32] in which the vacuum-polarization effects are partly taken into account.

The asymptotic behavior $m(r) = r^3/2l$ at small distances guarantees that spacetime is locally Euclidean at $r = 0$. It means that a regular closed world in the interior of the black hole may arise instead of the singularity only in the case when the mass $m(r)$ at small distances vanishes. The quantity $m(r)$ plays the role of the gravitational charge. Vanishing of the gravitational interaction at small distances is a characteristic property of the so called asymptotically free theories. The possibility that the gravitation is asymptotically free and that there is no singularity inside the black hole was considered in a number of papers [15–18, 20, 44]. To summarize our discussion we can conclude that one may expect the formation of a closed-world inside the black hole not only in our simple model with a thin transition layer but in a general situation provided the curvature is limited and the gravitation theory is asymptotically free.

After these general remarks we return to our simple model and discuss the problem of a spherically symmetric gravitational collapse.

3. GRAVITATIONAL COLLAPSE AND BLACK HOLE INTERIOR

In a realistic situation when the black hole is formed by collapsing matter, the spacetime structure differs from that shown in Fig. 3. The difference is due to the matter presence. For the sake of simplicity we consider the spherically symmetric gravitational collapse and assume that the collapsing matter is a homogeneous spherically symmetric dust cloud. According to our assumptions one may use the Einstein equations to describe the evolution of this cloud up to Planck curvatures. The metric inside the matter during this evolution coincides with the metric of a part of the closed Friedmann universe and reads

$$ds^2 = a_-^2(\eta_-)(-d\eta_-^2 + d\chi^2 + \sin^2\chi\, d\omega^2), \tag{3.1}$$

where

$$a_-(\eta_-) = a_0(1 - \cos\eta_-) \tag{3.2}$$

and $0 \leqslant \chi \leqslant \chi_0 < \pi/2$. The parameter $\eta_- = \pi$ corresponds to the maximum expansion of the dust cloud when $a(\pi) = 2a_0$. The internal mass of the cloud M is constant during the evolution and is equal to

$$M = \frac{3a_0}{2}(\chi_0 - \sin\chi_0 \cos\chi_0). \tag{3.3}$$

The external (Schwarzschild) mass m of the cloud is less than M due to the gravitational self-interaction and reads

$$m = a_0 \sin^3\chi_0. \tag{3.4}$$

The radius of the cloud's boundary evolves according to the law

$$r = a_-(\eta_-)\sin\chi_0. \tag{3.5}$$

At the moment of maximal expansion this radius is $r = 2a_0 \sin\chi_0$. Then the boundary of the cloud begins contracting and after passing the surface $r = 2m$ it enters the black hole.

The curvature inside the matter grows as

$$\mathcal{R}^2 = 60\frac{a_0^2}{a_-^6(\eta_-)} \tag{3.6}$$

and at the moment η_-^0 when

$$a_-(\eta_-^0) = \tilde{a} \equiv \left(\frac{60}{\alpha}\right)^{1/6}\left(\frac{a_0}{l}\right)^{1/3} l \tag{3.7}$$

the curvature reaches the limiting value $(\mathcal{R}^2 = \alpha l^{-4})$. At this moment the radius of the boundary surface is

$$r = r_0 \equiv \left(\frac{15}{\alpha}\right)^{1/6}\left(\frac{2m}{l}\right)^{1/3} l. \tag{3.8}$$

It is approximately the same value as r_0 given by eq. (2.6).

In accordance to our hypothesis we assume that after some short transition layer the geometry in the region occupied by matter would also become de Sitter-type. It is convenient to write the de Sitter-line element as

$$ds^2 = a_+^2(\eta_+)(-d\eta_+^2 + d\chi^2 + \sin^2\chi\, d\omega^2), \tag{3.9a}$$

where

$$a_+(\eta_+) = l/\sin\eta_+ . \tag{3.9b}$$

The jump conditions at the junction surface Σ_0 which separates (3.1) and (3.9) can be written in the form (see Appendix C)

$$a_+(\eta_+^0) = a_-(\eta_-^0), \quad S_n^m = -\frac{\lambda}{4\pi}\delta_n^m, \tag{3.10}$$

where

$$\lambda = \left(a_+^{-2}\frac{da_+}{d\eta_+}\right)_{\eta_+^0} - \left(a_-^{-2}\frac{da_-}{d\eta_-}\right)_{\eta_-^0} = \frac{1}{\tilde{a}}\left\{\left(2\frac{a_0}{\tilde{a}}-1\right)^{1/2} - \left[\left(\frac{\tilde{a}}{l}\right)^2 - 1\right]^{1/2}\right\}. \tag{3.11}$$

For a particular choice $\alpha = 15$ one has $\tilde{a} = l(2a_0/l)^{1/3}$ and $\lambda = 0$. In this case the solutions (3.1) and (3.9) are smoothly sewed together without any "shell". The energy density changes continuously while the curvature invariant $\mathcal{R}^2$ jumps at Σ_0 from $15l^{-4}$ to $24l^{-4}$. For the other values of α the transition layer is needed. For $a_0 \gg l$ we have

$$\lambda \simeq l^{-1}[(\alpha/15)^{1/4} - 1]. \tag{3.12}$$

As earlier this relation shows that the assumption about the short duration of the transition regime is noncontradictory.

The Penrose conformal diagram for the spacetime of a black hole which arises as a result of the gravitational collapse is shown in Fig. 6. It contains three distinct domains

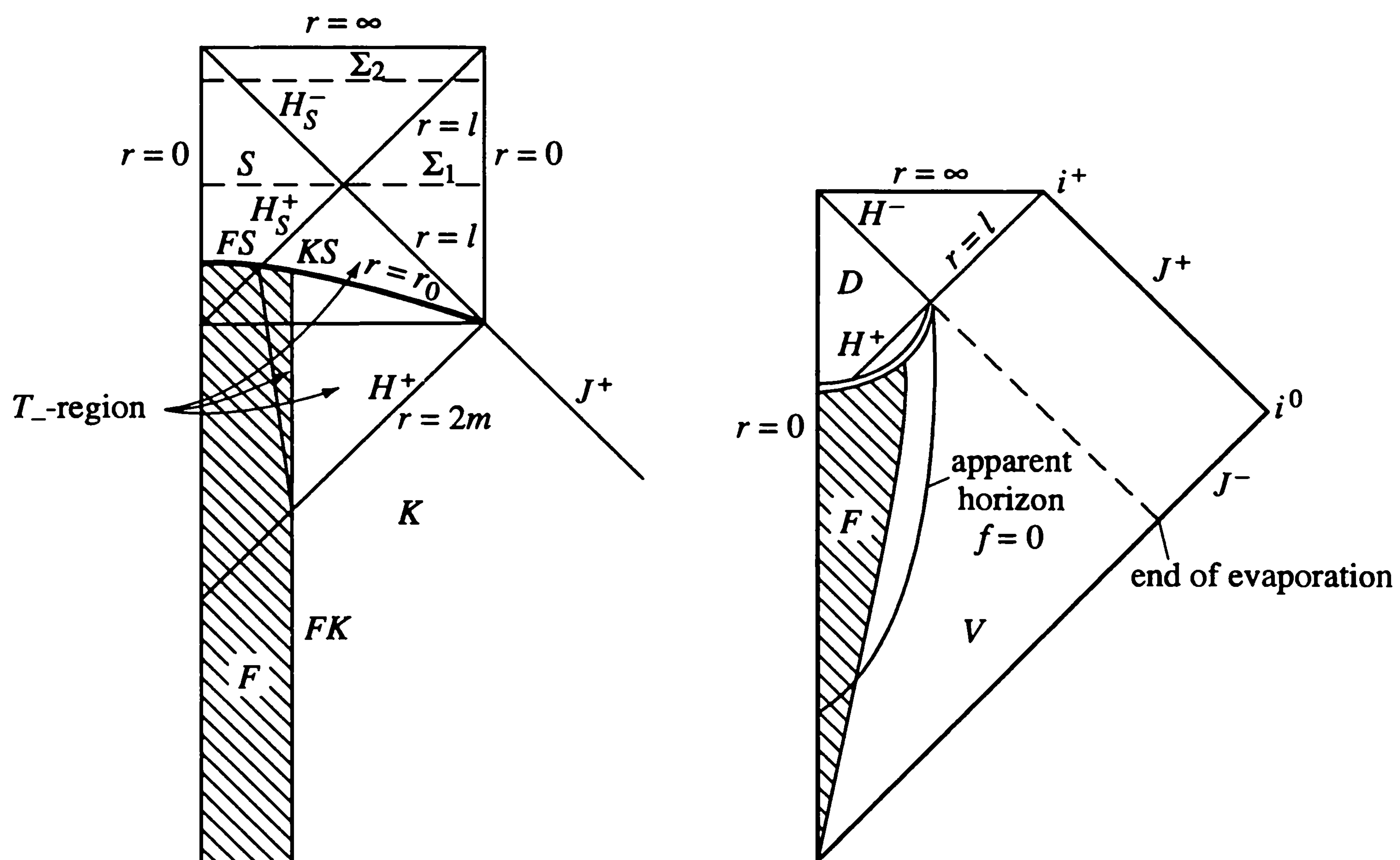


Fig. 6. Conformal diagram for the spacetime of a black hole formed by a collapsing spherically symmetric dust cloud. The domains corresponding to the Schwarzschild–Kruskal, Friedmann, and de Sitter solutions are denoted by K, F, and S, respectively. The boundaries FK, FS, and KS which separate these domains are also shown

Fig. 7. Conformal diagram for a possible spacetime structure in the case when after the end of a black hole evaporation there is a stable remnant with the mass $m_{min} = l/2$

denoted as K, S, and F in which the metric coincides with Schwarzschild–Kruskal, de Sitter, and Friedmann metrics, correspondingly. The jump conditions at the junction surface FS separating the Friedmann and de Sitter domains are given by eqs. (3.10) and (3.11). The jump conditions at the surface KS outside the collapsing matter were considered in the previous section [eqs. (2.11) and (2.12)]. The boundary FK between the dust and vacuum is regular and does not require any "shells". The corresponding jump conditions at FK lead to the relations (3.4) and (3.5). The boundary of the T_--region outside the matter coincides with the part of the event horizon H^+ and with the Cauchy horizons $H_S^\pm$. It is nonstatic inside the matter. This boundary is shown in Fig. 6 by the solid line.

4. FINAL STATE OF EVAPORATING BLACK HOLE

Let us discuss now what happens when the mass of a black hole decreases due to the process of its quantum evaporation. The radiation of energy to infinity in this process is accompanied by the negative-energy flux through the horizon into the black hole. As a result the mass of the black hole decreases. The exact solution of the gravitation equations

describing this process is not known. In order to describe the black hole with variable mass we shall use the Vaidya metric [35, 45, 46] which we write in the form

$$ds^2 = f\,dv^2 + 2dv\,dr + r^2 d\omega^2, \tag{4.1}$$

$$f \equiv -\nabla r \cdot \nabla r = 2m(v)\,r^{-1} - 1. \tag{4.2}$$

Here v is the advanced time coordinate (at infinity $f = -1$ and $v = t + r$). This metric is a solution of Einstein's equations for the energy-momentum tensor:

$$T_{\mu\nu} = \frac{1}{4\pi r^2}\frac{dm}{dv} v_{,\mu} v_{,\nu}. \tag{4.3}$$

Such an energy-momentum tensor describes a spherically symmetric flow of radiation into the black hole. When $dm/dv < 0$ the energy density of this flow is negative. Of course the metric (4.1), (4.2) is not the solution for a spacetime of an evaporating black hole. Nevertheless, it is often used as a model metric to describe the decrease of the mass during the evaporation process (see, e.g., ref. [2, 22, 28, 41]).

When the black hole mass is variable the spacetime structure may differ from that described in the previous section. According to our model this spacetime can be obtained by attaching the Vaidya metric (4.1), (4.2) to the de Sitter one. As earlier the junction surface Σ_0 is defined by the condition $\mathcal{R}^2 = \alpha l^{-4}$. The invariant $\mathcal{R}$ for the Vaidya metric takes the simple form

$$\mathcal{R}^2 = \frac{48 m^2(v)}{r^6} \tag{4.4}$$

and the equation of Σ_0 is

$$r = r_0(v) \equiv \left(\frac{12}{\alpha}\right)^{1/6} \left(\frac{2m(v)}{l}\right)^{1/3} l. \tag{4.5}$$

The jump conditions and the parameters of the "thin massive shell" at Σ_0 are given in Appendix B.

The junction surface Σ_0 lies inside the apparent horizon ($f = 0$) until the advanced time reaches the value v_1 defined by the condition $r_0(v_1) = \beta^{-1} l$, where $\beta = (\alpha/12)^{1/4}$. If the evaporation ends before this time the resulting possible structure of spacetime is qualitatively the same as presented in Fig. 6 or as given in Fig. 7. In this case the black hole of a minimum possible mass $m_{\min} \geqslant l/2$ remains ("maximon" [36] of "elementary black hole" [27]). If the final mass $m_{\min}$ is smaller than $l/2$ then there arises a version of a "semiclosed" world. It is necessary to stress that the "massive thin shell" approach in such a situation becomes questionable and one must treat the results obtained in the framework of this approach with cautions. If stable "maximons" do not exist then one may expect that the remnant of a black hole may just disappear at the final stage of evaporation. This pure quantum effect would change the topology of space and hence it does not allow the regular classical description.

5. FATE OF BLACK HOLE INTERIOR

Now we briefly discuss the possible fate of the de Sitter world which according to our model may be present in the interior of a black hole. First of all it should be noted that de Sitter space is usually unstable [4, 5, 33, 34, 43]. If the hypothesis about the limiting curvature existence is valid then such an instability at the stage of deflation might be suppressed. There is a possibility that at the end of deflation when the closed-world has Planckian dimensions it can just disappear in the process of quantum annihilation. If it does not happen then the decay of this world which begins its inflationary expansion may create a new macroscopic Universe in the same manner as it happens in the usual inflation models [4, 5, 33, 34, 43]. The result of this decay depends on the effective hypersurface at which it occurs and hence on the nature of the Λ-term. In particular one may expect that a new macroscopic closed Friedmann universe will arise as a result of this process. In this case de Sitter space decays at some hypersurface Σ_2 (see Fig. 6). The spacetime in the future with respect to Σ_2 will coincide with the spacetime of an expanding closed Friedmann universe. Another possibility is the creation of a white hole in a new asymptotically flat universe which lies in the absolute future with respect to the original asymptotically flat space. Such a process of white hole creation may occur only if the de Sitter phase decays on the surface $r = \text{const}$.

The considered model may be interpreted as "the creation of the universe in a laboratory" via a black hole which may be formed by contraction of matter up to high density. This conclusion does not contradict the theorem of ref. [14]. The reason is that in our case the assumptions of this theorem (in particular the existence of a global Cauchy surface as well as the condition of energy dominance) may be violated.

In conclusion it should be stressed once again that the consideration in this paper is based on rather restrictive assumptions about the properties of the effective gravitational equations at high curvatures. For example at small distances it may become important that real spacetime dimensionality is higher than 4. We cannot exclude also the formation of a few or many closed baby universes inside a black hole. Nevertheless we hope that the described model with a closed-world in the interior of a black hole may be useful and this picture or its main features will survive in a future theory. If it happens then the possibility (which was discussed earlier in connection with the Reissner–Nodrström or Kerr spacetime) "to travel" from our Universe into a new one which is in the absolute future with respect to us may still become open.

Acknowledgments

The authors thank Brandon Carter, Mario Castagnino, Werner Israel, and Igor Novikov for useful discussions. One of the authors (V.P.F.) is grateful to the Instituto de Astronomia y Fisica del Espacio for hospitality during the preparation of this paper.

APPENDIX A

In this appendix we collect the main formulas of the massive thin shell approach. Let Σ be a surface which separates two spacetime domains $U^{(+)}$ and $U^{(-)}$. We shall use δ to distinguish the quantities which are defined in these domains by assuming that $\delta = +$ for $U^{(+)}$

and $\delta = -$ for $U^{(-)}$. Thus the line element $ds^{(\delta)2}$ in $U^{(\delta)}$ reads

$$ds^{(\delta)2} = g^{(\delta)}_{\mu\nu}\, dx^{(\delta)\mu} dx^{(\delta)\nu}. \tag{A1}$$

We assume that the surface Σ is either spacelike or timelike [12]. The Gaussian normal coordinates $(q, y^{(\delta)i})$ can be introduced in $U^{(\delta)}$ in which

$$ds^{(\delta)2} = -\nu\, dq^2 + h^{(\delta)}_{ij}(q, y^{(\delta)k})\, dy^{(\delta)i} dy^{(\delta)i}, \tag{A2}$$

$q = 0$ is the equation of Σ, $\nu = +1$ for the spacelike surface, and $\nu = -1$ for the timelike surface. Denote by n^{μ} the unit vector which is normal to Σ and is directed from $U^{(-)}$ to $U^{(+)}$:

$$n_{\mu} n^{\mu} = -\nu. \tag{A3}$$

In the Gaussian normal coordinates $n^{\mu}\partial_{\mu} = \partial_q$.

The three-geometries $dh^{(\delta)2}$ induced on Σ by the fourdimensional metrics $g^{(\delta)}_{\mu\nu}$ can be written as

$$dh^{(\delta)2} = h^{(\delta)}_{ij}(0, y^{(\delta)k})\, dy^{(\delta)i} dy^{(\delta)i}. \tag{A4}$$

In general relativity these metrics must be isometric while the external curvatures may have jumps at Σ. One can use the freedom in the choice of the coordinates $y^{(\delta)i}$ in order to imply that $h^{(+)}_{ij} = h^{(-)}_{ij}$. We write the three-dimensional metric dh^2 on Σ in this coordinate as

$$dh^2 = h_{ij}(x^k)\, dy^i dy^i. \tag{A5}$$

The external curvature $K^{(\delta)}_{\mu\nu}$ of the surface Σ is defined as

$$K^{(\delta)}_{\mu\nu} = -P^{(\delta)\alpha}_{\mu} P^{(\delta)\beta}_{\nu} \nabla^{(\delta)}_{\alpha} n_{\beta}, \tag{A6}$$

where

$$P^{(\delta)\nu}_{\mu} = \delta^{\nu}_{\mu} - \nu n_{\mu} n^{\nu}. \tag{A7}$$

In the Gaussian normal coordinates (A2) one has

$$K^{(\delta)}_{ij} = -\frac{1}{2}\frac{\partial h^{(\delta)}_{ij}}{\partial q}. \tag{A8}$$

To obtain the jumps of the external curvature at Σ one can use Einstein's equations

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = 8\pi T_{\mu\nu} \tag{A9}$$

which in $(3 + 1)$ form read

$$G^i_j = {}^{(3)}G^i_j - \nu\partial_q\left(K^i_j - \delta^i_j K\right) - \nu\left[KK^i_j - \frac{1}{2}\delta^i_j\left(K^m_k K^k_m + K^2\right)\right] = 8\pi T^i_j, \tag{A10}$$

$$G_j^n = \nu\left(K^i_{j|i} - K_{|j}\right) = 8\pi T_j^n, \tag{A11}$$

$$G_n^n = -\frac{1}{2}\,{}^{(3)}R - \frac{1}{2}\nu\left(K^2 - K^i_j K^j_i\right) = 8\pi T_n^n, \tag{A12}$$

where ${}^{(3)}G^i_j = {}^{(3)}R^i_j - \frac{1}{2}\delta^i_j\,{}^{(3)}R$, ${}^{(3)}R^i_j$ – is the Ricci tensor for h_{ij}, $(\,)_{|i}$ denotes the covariant derivative with respect to the metric h_{ij} and $A^{n\cdot\cdot}_{\cdot\cdot} \equiv n_\mu A^{\mu\cdot\cdot}_{\cdot\cdot}$. If we denote

$$[K_{ij}] = K_{ij}^{(+)} - K_{ij}^{(-)}, \tag{A13}$$

then by integrating (A10) over q in the vicinity of Σ we get

$$-\nu([K^i_j] - \delta^i_j[K]) = 8\pi S^i_j, \tag{A14}$$

where

$$S^i_j = \lim_{\varepsilon\to 0}\int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} T^i_j\, dq. \tag{A15}$$

By calculating the jump of eq. (A11) at Σ and using eq. (A14) we get

$$S^i_{j|i} = -[T^n_j], \tag{A16}$$

where $[T^n_j] = T_j^{(+)n} - T_j^{(-)n}$.

Eq. (A14) gives the relation between the jumps of the external curvature at Σ and the integral characteristics of the "shell" while eq. (A16) provides the "equation of motion" of this "shell". If the field eqs. (A10)–(A12) are satisfied in both domains $U^{(+)}$ and $U^{(-)}$ then other relations which can be obtained from (A10)–(A12) are just identities.

APPENDIX B

This appendix contains the details of the calculations of the external curvatures and jump conditions at the juntion surfaces in spherically symmetric spacetimes for the cases which are considered in the paper. For our purpose it is convenient to write the metric in the form (see, also, ref. [8])

$$ds^2 = f\,dv^2 + 2dv\,dr + r^2 d\omega^2, \tag{B1}$$

where $d\omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta\, d\phi^2$, $f \equiv f(r, v) = -\nabla r\cdot\nabla r$, and v is an advanced time coordinate which is normalized at infinity (where $f = -1$) by the condition $\nabla r\cdot\nabla v = 1$.

Let Σ be a surface in this space defined by the equation $\Phi = 0$ where

$$\Phi \equiv R(v) - r. \tag{B2}$$

We denote by $U^{(+)}(U^{(-)})$ the domain of the spacetime where $\Phi > 0$ $(\Phi < 0)$. The internal

geometry on Σ which is induced by the metric (B1) is

$$dh^2 = \nu\varepsilon^2(v)\,dv^2 + R^2(v)\,d\omega^2 = \nu\,dq^2 + \rho^2(q)\,d\omega^2, \tag{B3}$$

where

$$\nu\varepsilon^2(v) = f(R(v), v) + 2\frac{dR}{dv} \equiv F(v) + 2\frac{dR}{dv},$$
$$\nu \equiv \mathrm{sgn}\,(\nu\varepsilon^2), \tag{B4}$$
$$dq = \varepsilon(v)\,dv, \quad \rho(q) = R(v(q)).$$

The surface Σ is a spacelike one in the case $\nu = +1$ and it is a timelike surface for $\nu = -1$.

The unit vector n^μ which is normal to Σ and directed from $U^{(-)}$ to $U^{(+)}$ is

$$n^\mu = \frac{\nu}{\varepsilon}\left(-1,\ F + \frac{dR}{dv}, 0, 0\right). \tag{B5}$$

It is convenient to consider this vector as one of the vectors (e_0^μ) of the tetrad e_a^μ ($a = 0,1,2,3$) the other vectors of which are defined as

$$e_1^\mu = \varepsilon^{-1}(1, dR/dv, 0, 0),$$
$$e_2^\mu = R^{-1}(0,0,1,0), \tag{B6}$$
$$e_3^\mu = (R\sin\theta)^{-1}(0,0,0,1).$$

These vectors obey the normalization conditions

$$e_{\hat a}^\mu\, e_{\hat b\mu} = \eta_{\hat a\hat b}, \tag{B7}$$

where

$$\eta_{\hat a\hat b} = \mathrm{diag}(-\nu, \nu, 1, 1). \tag{B8}$$

The external curvature tensor K_{ij} for the hypersurface Σ has the following nonzero tetrad components:

$$K_{\hat 1}^{\hat 1} = \frac{1}{\sigma}\left(\ddot\rho + \frac{\nu}{2}\frac{\partial f}{\partial r} + \frac{1}{2\varepsilon^2}\frac{\partial f}{\partial v}\right), \quad K_{\hat 2}^{\hat 2} = K_{\hat 3}^{\hat 3} = \sigma\rho^{-1}, \tag{B9}$$

where

$$\sigma = -n^\mu \nabla_\mu r = \frac{\nu}{\varepsilon}\left(F + \frac{dR}{dv}\right) \tag{B10}$$

and the overdot denotes the differentiation in the direction of $e_{\hat 1}^\mu$

$$(\,)^{\cdot} \equiv e_{\hat 1}^\mu \nabla_\mu(\,) = \varepsilon^{-1}\frac{d}{dv}(\,). \tag{B11}$$

Using eqs. (B10) and (B11) it is easy to find that

$$\varepsilon = \sigma + \nu\dot{\rho}. \tag{B12}$$

We discuss at first the case of the short transition layer which separates the Schwarzschild ($\delta = -$) and de Sitter ($\delta = +$) metrics and obtain the parameters of the corresponding "massive thin shell". In this case $R(v) = r_0$, $l < r_0 < 2m$. The Schwarzschild metric can be rewritten in the form (B1) where

$$f^{(-)} = 2mr^{-1} - 1. \tag{B13}$$

It is easy to verify that

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \varepsilon^{(-)} \equiv (2mr_0^{-1} - 1)^{1/2}, \\ \sigma &= \sigma^{(-)} \equiv (2mr_0^{-1} - 1)^{1/2}, \end{aligned} \tag{B14}$$

and

$$dh^{(-)2} = dq^2 + r_0^2 d\omega^2. \tag{B15}$$

The nonzero components of the extrinsic curvature $K_{ij}^{(-)}$ are equal to

$$\begin{aligned} K_1^{(-)1} &= -\frac{m}{r_0^2}\left(\frac{2m}{r_0} - 1\right)^{-1/2}, \\ K_2^{(-)2} &= K_3^{(-)3} = \frac{1}{r_0^2}\left(\frac{2m}{r_0} - 1\right)^{1/2}. \end{aligned} \tag{B16}$$

For the de Sitter metric we find

$$\begin{aligned} f^{(+)} &= (r/l)^2 - 1, \\ dh^{(+)2} &= dq^2 + r_0^2 d\omega^2, \\ \varepsilon^{(+)} &= \sigma^{(+)} = [(r_0/l)^2 - 1]^{1/2}, \\ K_1^{(+)1} &= \frac{r_0}{l^2}[(r_0/l)^2 - 1]^{-1/2}, \\ K_2^{(+)2} &= K_3^{(+)3} = \frac{1}{r_0^2}[(r_0/l)^2 - 1]^{1/2}. \end{aligned} \tag{B17}$$

If we introduce the notation

$$\varkappa \equiv [K_1^1] = \frac{r_0}{l^2}[(r_0/l)^2 - 1]^{-1/2} + \frac{m}{r_0^2}[(2m/r_0) - 1]^{-1/2}, \tag{B18}$$

$$\lambda \equiv [K_2^2] = -\frac{1}{r_0}\left\{[(2m/r_0) - 1]^{1/2} - [(r_0/l)^2 - 1]^{-1/2}\right\}, \tag{B19}$$

then

$$S_1^1 = \lambda / 4\pi, \quad S_2^2 = S_3^3 = (\varkappa + \lambda) / 8\pi. \tag{B20}$$

It is easy to verify that $[T_i^n] = 0$ and correspondingly eq. (A16) is satisfied identically.

Now we turn to the case when the surface Σ is the boundary between the Vaidya ($\delta = -$) and de Sitter ($\delta = +$) metrics. For this case,

$$f^{(-)} = 2m(v) r^{-1} - 1 \tag{B21}$$

and we have

$$\nu\varepsilon^{(-)2}(v) = 2m(v) / R(v) - 1 + 2dR/dv,$$

$$\sigma^{(-)} = \nu(\varepsilon^{(-)})^{-1}[2m(v)/R(v) - 1 + 2dR/dv], \tag{B22}$$

and

$$K_1^{(-)1} = \frac{1}{\sigma^{(-)}}\left(\ddot{\rho} - \frac{\nu m}{\rho^2} + \frac{\dot{m}}{\varepsilon^{(-)}\rho}\right),$$

$$K_2^{(-)2} = K_3^{(-)3} = \frac{\sigma^{(-)}}{\rho}. \tag{B23}$$

It is easy to find the following expressions for the de Sitter metric:

$$f^{(+)} = (r/l)^2 - 1,$$

$$\nu\varepsilon^{(+)2} = [R(v)/l]^2 - 1 + 2dR/dv, \tag{B24}$$

$$\sigma^{(+)} = \frac{\nu}{\varepsilon^{(+)}}\left\{[R(v)/l]^2 - 1 + dR/dv\right\},$$

and

$$K_1^{(+)1} = \frac{1}{\sigma^{(+)}}\left(\ddot{\rho} + \frac{\nu\rho}{l^2}\right), \quad K_2^{(+)2} = K_3^{(+)3} = \frac{\sigma^{(+)}}{\rho}. \tag{B25}$$

For the jumps of the extrinsic curvature we obtain

$$\varkappa \equiv [K_1^1] = \frac{1}{\sigma^{(+)}}\left(\ddot{\rho} + \frac{\nu\rho}{l^2}\right) - \frac{1}{\sigma^{(-)}}\left(\ddot{\rho} - \frac{\nu m}{\rho^2} + \frac{\dot{m}}{\varepsilon^{(-)}\rho}\right), \tag{B26}$$

$$\lambda \equiv [K_2^2] = \rho^{-1}(\sigma^{(+)} - \sigma^{(-)}),$$

and

$$S_1^1 = \lambda / 4\pi, \quad S_2^2 = S_3^3 = (\varkappa + \lambda) / 8\pi. \tag{B27}$$

The "conservation law" (A6) takes the form

$$\dot{\lambda}\rho^2 + (\lambda - \varkappa)\rho\dot{\rho} = -\nu\varepsilon^{-1}\dot{m}. \tag{B28}$$

In the simplest case, when $\lambda = 0$, eq. (B28) gives

$$\varkappa = -\frac{\nu}{\rho\varepsilon}\frac{dm}{d\rho}. \tag{B29}$$

Taking into account (B26), we find in this case that $\sigma^{(-)} = \sigma^{(+)}$ and correspondingly [see (B12)] $\varepsilon^{(-)} = \varepsilon^{(+)}$ or

$$\rho = (2m(v)/l)^{1/3} l. \tag{B30}$$

If we use this equation, then eq. (B29) can be written in the form

$$\varkappa = -\frac{3\nu\rho}{2\varepsilon l^2}. \tag{B31}$$

APPENDIX C

In this appendix the problem of matching the closed Friedmann universe metric to the de Sitter one is considered. We write the metric for these spaces in the form

$$ds^{(\delta)2} = a_\delta^2(\eta_\delta)(-d\eta_\delta^2 + d\chi^2 + \sin^2\chi\, d\omega^2). \tag{C1}$$

One has, for the closed Friedmann universe ($\delta = -$) with dustlike matter ($p = 0$),

$$a_-(\eta_-) = a_0(1 - \cos\eta_-), \tag{C2}$$

while for the de Sitter space ($\delta = +$),

$$a_+(\eta_) = l/\sin\eta_+. \tag{C3}$$

We suppose that the junction surface is defined by

$$\eta_\delta = \eta_\delta^0 = \text{const}. \tag{C4}$$

The three-geometries induced by the metrics (C1) at this surface are identical provided

$$a_-(\eta_-^0) = a_+(\eta_+^0). \tag{C5}$$

The components of the external curvatures $K_i^{(\delta)j}$ can be written as

$$K_j^{(\delta)i} = -\left(\frac{1}{a_\delta^2(\eta_\delta)}\frac{da_\delta}{d\eta_\delta}\right)_{\eta_\delta^0}\delta_j^i. \tag{C6}$$

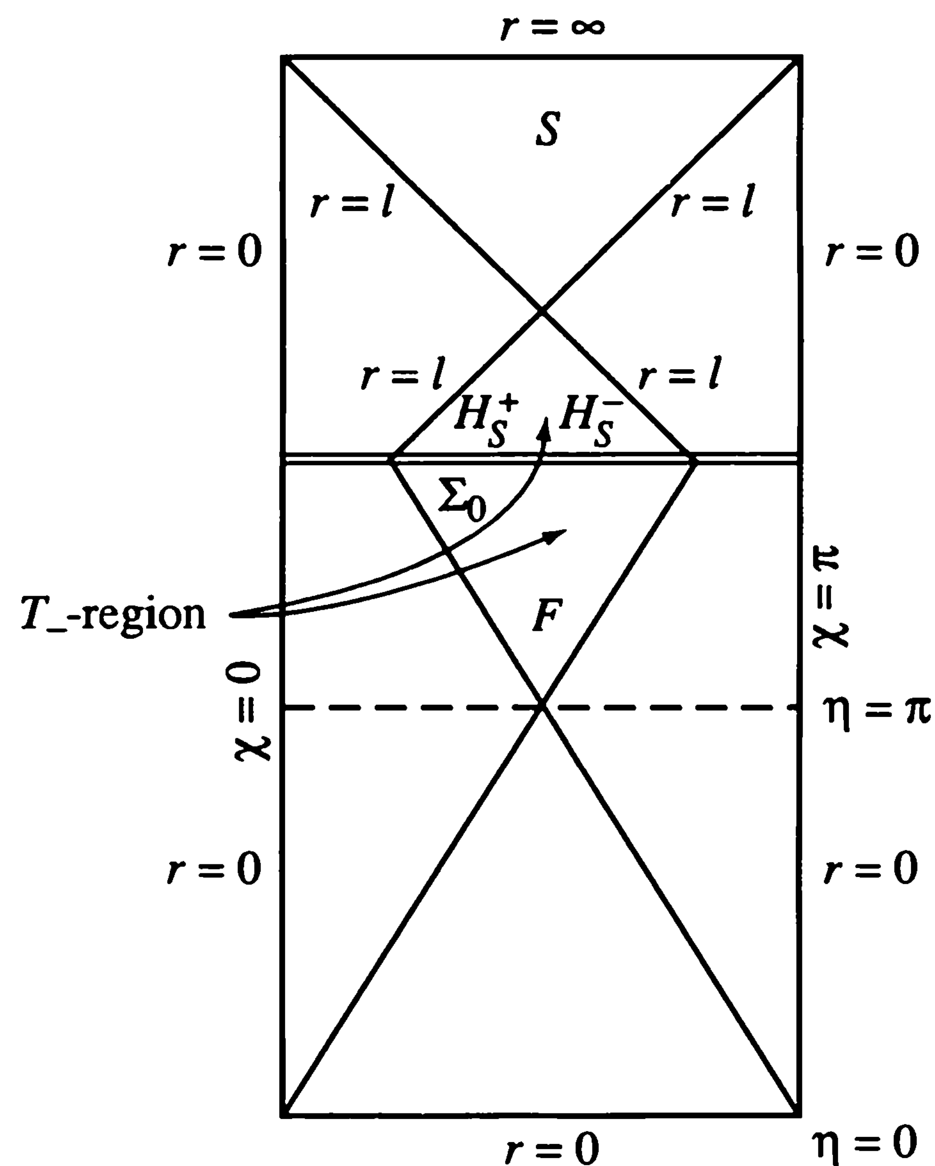


Fig. 8. Conformal diagram for the spacetime of Friedmann–de Sitter universe. The surface Σ_0 is a juction face at which the Friedmann metric is matched to the de Sitter one. The T_--region shown in this picture corresponds to the particular choice of the parameter $\alpha = 15$

Using this expression one finds

$$S^i_j = -\frac{\lambda}{4\pi}\delta^i_j, \tag{C7}$$

$$\lambda = (a_+^{-2} da_+ / d\eta_+)_{\eta_+ = \eta_+^0} - (a_-^{-2} da_- / d\eta_-)_{\eta_- = \eta_-^0}. \tag{C8}$$

The junction condition (C5) and the explicit expressions (C2) and (C3) for $a_\delta(\eta_\delta)$ allows one to rewrite eq. (C8) in the form (3.11).

We have defined the T_--region as a domain where $\nabla r \cdot \nabla r < 0$. The boundary ∂T_- of this domain is the surface where $\nabla r \cdot \nabla r = 0$. One can write the equation for ∂T_- in the spacetime (C1) as

$$a_\delta^{-1} da_\delta / d\eta_\delta = \pm \cot \chi. \tag{C9}$$

The solutions of these equations can be written in the form

$$\chi = \zeta_-^\pm(\eta_-) \equiv \frac{1}{2}\pi \pm \frac{1}{2}(\eta_- - \pi), \tag{C10}$$

$$\chi = \zeta_+^\pm(\eta_+) \equiv \frac{1}{2}\pi \pm \frac{1}{2}(\eta_+ - \pi/2). \tag{C11}$$

For the particular choice $\alpha = 15$ $(\lambda = 0)$ one has

$$\zeta_-^{\pm}(\eta_-^0) = \zeta_+^{\mp}(\eta_+^0). \tag{C12}$$

The conformal diagram for spacetime for this case is shown in Fig. 8. The spacetime structure is qualitatively the same for other choices of the parameter α. The main difference is that in the general case the relation (C12) is violated, so that there is a nontrivial part of the surface ∂T_- which lies on Σ_0.

It is also easy to show that when one considers not the complete closed world but only part of it $(0 \leqslant \chi \leqslant \chi_0 < \pi/2)$ then the surface ∂T_- intersects the dust cloud boundary $\chi = \chi_0$ at the point where

$$r = 2m. \tag{C13}$$

Here r and m are given by eqs. (3.5) and (3.4), correspondingly.

REFERENCES

1. *Аман Е.Г., Марков М.А.* // ТМФ. 1984. Т. 58. С. 97.
2. *Волович И.В., Загребнов В.А., Фролов В.П.* // Там же. 1976. Т. 29. С. 191.
3. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 214.
4. *Муханов В.Ф., Чибисов Г.В.* // Там же. 1981. Т. 33. С. 532.
5. *Муханов В.Ф., Чибисов Г.В.* // ЖЭТФ. 1982. Т. 83. С. 475.
6. *Новиков И.Д., Старобински А.А.* // Там же. 1980. Т. 78. С. 3.
7. *Новиков И.Д., Фролов В.П.* Физика черных дыр. М.: Наука, 1986.
8. *Фролов В.П.* // ЖЭТФ. 1974. Т. 66. С. 813.
9. *Berezin V.A., Kuzmin V.A., Tkachev I.I.* // Phys. Rev. 1987. Vol. 23. P. 2919.
10. *Bergmann P.G., Roman T.A.* // Phys. Rev. D. 1983. Vol. 28. P. 1265.
11. *Chandrasekhar S., Hartle J.B.* // Proc. Roy. Soc. London. A. 1982. Vol. 384. P. 301.
12. *Clarke C.J., Dray T.* // Class. Quantum Grav. 1987. Vol. 4. P. 265.
13. *Ellis G.F.R., Hawking S.W.* The large scale structure of space-time. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1973.
14. *Farhi E., Guth A.H.* // Phys. Lett. B. 1987. Vol. 183. P. 149.
15. *Fradkin E.S., Tseytlin A.A.* // Ibid. 1981. Vol. 104. P. 377.
16. *Fradkin E.S., Vilkovisky G.A.* // Ibid. 1978. Vol. 78. P. 262.
17. *Frolov V.P., Vilkovisky G.A.* // Phys. Lett. B. 1981. Vol. 106. P. 307.
18. *Frolov V.P., Vilkovisky G.A.* // Proc. Second Marcel Grossmann meeting rec. devel. general relativity, Trieste, Italy, 1979. Amsterdam: Ruffini, 1982. P. 455.
19. *Frolov V.P., Markov M.A., Mukhanov V.F.* // Ibid. 1989. Vol. 216. P. 272.
20. *Gursel Y., Novikov I.D., Sandberg V.D., Starobinsky A.A.* // Phys. Rev. D. 1979. Vol. 19. P. 413.
21. *Gursel Y., Novikov I.D., Sandberg V.D., Starobinsky A.A.* // Ibid. 1979. Vol. 20. P. 1260.
22. *Hajicek P.* // Phys. Rev. 1987. Vol. 36. P. 1065.
23. *Hartle J.B.* // Phys. Rev. D. 1988. Vol. 38. P. 2985.
24. *Hartle J.B., Hu B.L.* // Ibid. 1979. Vol. 20. P. 1772.
25. *Hartle J.B., Hu B.L.* // Ibid. 1980. Vol. 21. P. 2756.
26. *Hasslacher B., Mottola E.* // Phys. Lett. B. 1981. Vol. 99. P. 221.

27. *Hawking S.W.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1971. Vol. 152. P. 75.
28. *Hiscock W.A.* // Phys. Rev. D. 1981. Vol. 23. P. 2813.
29. *Hu B.L., Parker L.* // Ibid. 1978. Vol. 17. P. 3292.
30. *Israel W.* // Nuovo cim. B. 1966. Vol. 44. P. 1.
31. *Israel W.* // Ibid. 1967. Vol. 48. P. 463.
32. *Israel W., Poisson E.* // Class. Quantum Grav. L. 1988. Vol. 5. P. 201.
33. *Linde A.D.* // Phys. Lett. B. 1982. Vol. 108. P. 389.
34. *Linde A.D.* // Ibid. 1983. Vol. 129. P. 177.
35. *Lindquist R.W., Schwarz R.A., Misner C.W.* // Phys. Rev. 1965. Vol. 137. P. 1364.
36. *Markov M.A.* // Progr. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa. P. 85.
37. *Markov M.A.* // Ann. Phys. 1984. Vol. 155. P. 333.
38. *Markov M.A.* // Proc. 3th seminar on quantum gravity. Moscow, 1984. Singapore, 1985.
39. *Markov M.A., Mukhanov V.F.* // Nuovo cim. B. 1985. Vol. 86. P. 163.
40. *Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A.* Gravitation. San Francisco: Freeman, 1973.
41. *Nityananda R., Narayan R.* // Phys. Lett. A. 1981. Vol. 82. P. 1.
42. *Penrose R.* // Structure of space-time. N.Y.; Amsterdam: Benjamin, 1968.
43. *Starobinsky A.A.* // Phys. Lett. B. 1980. Vol. 91. P. 99.
44. *Tomboulis E.* // Ibid. 1980. Vol. 97. P. 77.
45. *Vaidya P.C.* // Phys. Rev. 1951. Vol. 83. P. 10.
46. *Vaidya P.C.* // Proc. Ind. Acad. Sci. A. 1951. Vol. 33. P. 264.
47. *Wheeler J.A.* Geometrodynamics. N.Y.: Acad. press, 1962.
48. *Zeldovich Ya.B., Novikov I.D.* The structure and evolution of the Universe. Chicago: Univ. of Chicago press, 1983.

THE UNIVERSE AS A WHOLE IS A COMPOSITE SYSTEM OF NUMBERLESS SETS OF UNIVERSES THAT ARE ALSO COMPOSITE*

Physically any inflation process represents a vacuum energy decay, usually in the form of a Λ-type scalar field [3] or simply a Λ-term [7], to all particles (fields) existing in nature. If we assume further that the inevitable process of collapse of a closed universe represents the process inverse in time to the process of inflation, which we call a deflation process, then physical processes should exist, during which all differences between fields (particles) arisen during the inflation in the Friedmann universe, disappear and the matter unifies again in the Λ-type term of the de Sitter metric [4][1].

* Phys. Lett. 1990. Vol. 151, № 1/2. P. 15–17.

[1] The inflation idea – all the variety in particles originates from some original prematter Λ-type term – reminds of an Anaxagoras cosmology, according to which all the variety of substance in the universe originated from the decay of the original matter which is not composed of particles and to which the concept of motion cannot be applied.

The apparent phenomenological possibility of such a deflation process in the example of black hole collapse was shown by Frolov et al. [6]. These authors consider universes, originating in R_2-space, in an absolute future according to the universe, where the mentioned black hole collapse is taking place.

If the result of ref. [6] corresponds to reality, then the history of the whole universe is very peculiar. If the original universe is closed and if during its expansion black holes originate, then in the collapse phase the universe continues its existence in the form of many closed- and semiclosed-type universes, let us say daughter ones. Naturally the entropy increase which arises in the one-oscillation-universe model is no longer a problem. If the final stage of a collapsing black hole represents a stable elementary black hole, then the universe originating in R_2-space is as a whole a stable particle with mass $m \sim 10^{-5}$ gr (maximon), and at the same time a peculiar black hole, which was called "a black hole of the second type" (in ref. [8]) and earlier in the framework of the possible existence of semiclosed worlds was called a friedmon or "micro-macro-symmetrical universe". If our universe originated as the result of a black hole collapse in absolutely past space, then in could be a friedmon, and a particle with mass $m \sim 10^{-5}$ gr in the "outer" universe. Moreover, the black hole final stage stability leads to the conclusion, that all universes, originating as considered above, cannot be absolutely closed, if there is not any other way that universes originate. The idea of numerous daughter universes originating as the result of universe collapse is quite natural, and in the case of one-black-hole-collapse, as the result of fluctuations of the deflation density and nonuniformity reaching in different cases such values of density and curvature, at which this black hole region can further develop only as a new universe in some R_2-space.

Continuing the consideration of the deflation process we should remark that the deflation process, i.e. the transformation of all the variety (of fields, particles) of the Friedmann universe into uniform Λ-type matter, could physically take place at large densities, if the whole matter transformed into a black hole gas. For example, a gas of elementary black holes having no hair, makes the process of unification of all forms of matter quite natural.

Returning to ref. [6] we should stress that it is assumed in it (in the hope, in particular, for a future quantum gravitation theory) that the curvature metrics do not reach infinite values during the black hole collapse. In this connection, it is interesting to discuss under what circumstances the assumption about the existence of asymptotical freedom of gravitational interactions leads to the absence of the collapsing body singularity. In ref. [10] we showed that in the hydrodynamical model the asymptotical freedom of gravitational interactions automatically leads to a stop of the collapse at some distance from the singularity. But the fate of the relic gravitational radiation, other possible perturbations of the metric, in particular the Kasner solutions arising, it seems, returns us to the singularity problem. At first we remind of the situation in the hydrodynamical model in the circumstances of the existence of asymptotical freedom discussed. In this model some function $\varkappa$ of the energy density ε inevitably in dimensionless form plays the role of the gravitational constant $\varkappa_0$,

$$\varkappa \to \varkappa_0 \frac{8\pi}{c^4} \psi(\varepsilon / \varepsilon_0) \to 0$$

at $\varepsilon \gg \varepsilon_0$. The physical sense of ε_0 will be cleared up further. By variation of the function of

action in the metric g_{ik} we obtain the equation automatically containing a Λ-type term, depending on the energy density:

$$R_k^i - \frac{1}{2}\delta_k^i R = G(\varepsilon)T_k^i - \Lambda(\varepsilon)\delta_k^i, \tag{1}$$

where

$$T_k^i = (\varepsilon + p)u^i u_k - p\delta_k^i,$$

$$G(\varepsilon) = \frac{\delta\varkappa}{\delta\varepsilon} + \varkappa, \quad \Lambda(\varepsilon) = -\varepsilon^2 \frac{\delta\varkappa}{\delta\varepsilon} \tag{2}$$

and we obtain from it,

$$\Lambda(\varepsilon) = \int_0^{\varepsilon} G(\varepsilon)d\varepsilon - G(\varepsilon)\varepsilon.$$

According to the requirement of asymptotical freedom, $G(\varepsilon) \to 0$, at $\varepsilon > \varepsilon_0$; $G(\varepsilon) \to$ const at $\varepsilon \ll \varepsilon_0$, the Λ-term tends to zero[2], the Friedmann universe originates. As ε increases, the Λ-type term increases, and the universe becomes more and more de Sitter-type like, and at $\varepsilon \to \infty$ the Λ-term tends to the constant $\int_0^{\infty} G(\varepsilon)d\varepsilon$, and the term with the gravitating energy tends to zero (asymptotical freedom). It is important to stress, that in the most essential periods $p_{\text{mat}} \to 0$, $p_{\text{vac}} < 0$ in eq. (1) the gravitating matter inevitably is present only in dust-like form. In ref. [10] the concrete example $G(\varepsilon)$ for the case of the isotropic mode is represented in the form

$$G(\varepsilon) = \frac{8\pi\varkappa_0}{c^4}(1 + \varepsilon/\varepsilon_0)^{-2}.$$

According to (2) we can show that in this case the right-hand part of the Einstein equation (the energy density of the gravitating matter) has a maximum while the collapse is just at the energy densities

$$\varepsilon = \varepsilon_0 = c^2\rho_0.$$

In ref. [5] the possibility of the existence of a limiting density of gravitating matter as a universal law of nature was discussed. In the above consideration this law is the direct consequence of the possible asymptotical freedom of gravitational interactions. At the moment of the collapse the term in the right-hand part of the Einstein equation, containing the gravitating matter (T_μ^ν) becomes equal to the Λ-type (i.e. vacuum) term. It occurs approximately at the size of the collapsing object, $a = \left(a_{\max} a_{\min}^2\right)^{1/3}$, at the value

[2] I.e. the problem that the Λ-type term go to zero at small matter densities, which is not trivial in some models of universe inflation, is trivial in this model.

$\Lambda(\varepsilon_{Pl}) = 2\pi / l_{Pl}^2$. The collapse stops at the size $a_{min} \sim 10^{-33}$ cm of the collapsing object $\Lambda < 8\pi / l_{Pl}^2$, i.e. $2\pi / l_{Pl} < \Lambda < 8\pi / l_{Pl}^2$. I.e., while decreasing the universe radius from $a = a_{max}^2 a_{min}^{1/3} \sim 10^{-13}$ cm to 10^{-33} cm, i.e. for 20 orders, at $a_{max} \sim 10^{28}$ cm, $a_{min} \sim 10^{-33}$ cm, the first term, containing T_μ^ν, at $a \ll (a_{max} a_{min}^2)^{1/3}$ becomes negligible in comparison with the Λ-type term. We should note that the dust-like model of the universe in ref. [4] that occurred originally as a purely illustrative one, taking into account the above consideration, has the features of the real universe at the discussed moments (matter pressure $p_m \to 0$) of its inflation and collapse. The appearance of additional particles, originating during the collapse stage in the process of transformation of the gravitational fields, perturbations in the dust-like matter of the black holes, and possible isotropization of Kasner perturbations [1] at the account of particle originating adds to the original matter density and make the parameters of the appearing Friedmann universes (R_{max}, bare masses M) unpredictable; the Λ-type term decay of the black holes during the inflation may be related to the baryon asymmetry [9]. By the way, stable elementary black holes can unite ("merge") into unstable mini black holes. The decay of these mini black holes can also lead to some scalar fields and appropriate phase transformations at the early stage of the Friedmann universe. At present the existence in nature of elementary black holes along with the existing neutrino component with $m_\nu \neq 0$ could originate so-called "dark matter" [9]. Moreover, the existence of the neutrino spectrum at energies $E_\nu \gg 10^{20}$ eV registered in DUMAND-type experiments suggested by us could indicate the presence in nature of stable particles with masses $\sim m_{Pl}$. In the framework of the above considerations the universe as a whole is represented as infinite in time and space with chaotic appearance and disappearance of closed or semiclosed universes as the result of the final state of the black hole being stable or unstable. In these considerations the whole spectrum of particles possible in nature is contained in the spectrum of decaying mini black holes.

I would like to express my gratitude to V.P. Frolov and V.F. Mukhanov for many helpful discussions.

REFERENCES

1. *Зельдович Я.Б.* // Письма в ЖЭТФ. 1970. Т. 12. С. 345.
2. *Зельдович Я.Б., Долгов А.* // Успехи физ. наук. 1970. Т. 130. С. 539.
3. *Линде А.Д.* Элементарные частицы и информационная космология. М., 1987.
4. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 213.
5. *Марков М.А.* // Там же. 1987. Т. 46. С. 342.
6. *Frolov V., Markov M., Mukhanov V.* // Proc. Friedmann centenary conf., Leningrad, 1988. Singapore, 1989. P. 52–64.
7. *Markov M.A.* // Proc. conf. on gravitational radiation and gravitational collapse. Warsaw, 1974.
8. *Markov M.A.* // Proc. conf. on group-theoretical methods in physics. Yurmala, 1985. M.: Наука, 1986.
9. *Markov M.A., Mukhanov V.F.* // Nuovo cim. 1985. Vol. 88. P. 9.
10. *Markov M.A., Zheleznykh I.M.* // Nucl. Instrum. and Meth. 1987. Vol. A248. P. 242.

THE PROBLEM OF DARK MATTER AND STABLE ELEMENTARY BLACK HOLES (maximons)*

As is known there are many particles which are claimed to play the role of dark matter particles. The neutrino could play that role if it would only possess a proper stable mass [12]. However, the mass of a stable neutrino is not known till now.

The possibility of the existence of a particle with a maximally large mass (a maximon) in the elementary particle spectrum was discussed in ref. [13]. It was assumed that the world constants c (velocity of light), $\hbar$ (Planck constant) and $\varkappa$ (gravitational constant) were the particle parameters.

The maximon mass and size, respectively, are as follows,

$$m_{\max} \approx \sqrt{\hbar c / \varkappa} \approx 10^{-5}\ \text{gr},$$
$$l_{\max} \approx \sqrt{\hbar c / c^3} \approx 10^{-33}\ \text{cm}. \tag{1}$$

Many authors discussed the possibility of the existence of such a particle and proposed various names for it. Later on, when the black hole theory appeared, it was found that in the Hawking radiation process a black hole reaches a minimal size with the parameters of a maximon (1). In the case when such a finite state of a black hole is stable, these elementary black holes – maximons – could play the role of dark matter in the universe. A set of papers exist which speak in favor of the stability of an elementary black hole [1, 5, 10, 11]. But this problem has not yet been solved exactly[1].

Stable elementary black holes could play an essential role in some problems of cosmology [15]. Further, with some risk, we assume that the dark matter of the universe consists of stable elementary black holes – maximons.

Below we consider the non-trivial possibility of the appearance of a maximon at any moment of the history of our universe as the result of black hole collapse in universes existing in the absolute past in relation to the time of our universe.

The point is that in the process of black hole formation the matter limited by the Schwarzschild sphere can move only in the direction to the singularity. This region of the Kruskal diagram was called T_--region [3]. One may ask where black hole matter disappears if it cannot reach the singularity for some reason. Originally this problem was considered by Novikov in the frame of a classical (non-quantum) model of an electrically charged collapsing object [2]. The author came to the conclusion that in this case the matter of an object can appear in the T_+-region of the Kruskal diagram, where the movement of matter is realized only in the direction from the singularity to the Schwarzschild sphere surface and further to the R'' space, which exists in the absolute future in relation to the first space (R') where the collapse of the object started. In refs. [6, 14] attention was paid to the fact that such a possibility is common for collapsing black holes under the condition that all the

---

* Phys. Lett. A. 1993. Vol. 172. P. 331–332.

[1] Moreover, if the maximon mass $m_{\max} = \alpha\sqrt{\hbar c / \varkappa}$, where $\alpha < 1$, then the particle cannot be a black hole.

curvatures are finite. In ref. [14] it is assumed that our universe took its origin from a black hole originating in a universe existing in the absolute past. Objects of galaxy-type could also originate in our universe from collapsing black holes of universes in the absolute past. We can mention that in 1928 Jears proposed that galaxy matter "falow into our universe from absolutely other space" [9]. It can seem that more often such objects could originate from collapsing black holes, which by the Hawking radiation in their universes possess a mass similar to the maximon mass.

According to the above idea that dark matter only contains maximons, the maximons which have no electric charge practically do not interact with matter. Celestial bodies are transparent for them [12]. That is why our contemporary universe presents itself by celestial bodies, unhamperedly moving in a medium of maximons. Neutrinos or other kinds of radiation practically do not interact with dark matter. Only the merging of two or several colliding maximons into one black hole with a large mass is possible.

Principally, the merging of two or several elementary black holes followed by Hawking radiation is possible. Such a neutrino radiation from small black holes in galaxy nuclei could be detected in neutrino experiments by DUMAND-type detectors [16]. Here the energies $E_\nu \approx 10^{16}$ eV and $E_\nu > 10^{19}$ eV are of special interest.

It is worthwhile to stress that the process of the appearance of matter in our universe from other universes may be considered as a process of matter creation in our universe. There are many universe models with steady matter creation [4, 7, 8, 17].

REFERENCES

1. *Муханов В.Ф.* // Письма в ЖЭТФ. 1986. Т. 86. С. 63.
2. *Новиков И.Д.* // Астрон. журн. 1966. Т. 42. С. 911.
3. *Новиков И.Д., Фролов В.П.* Физика черных дыр. М.: Наука, 1986. С. 28.
4. *Bondi H., Gold T.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1948. Vol. 108. P. 252.
5. *Bunch T.S.* // J. Phys. A. 1981. Vol. 14. P. 739.
6. *Frolov V., Markov M., Mukhanov V.* // Phys. Rev. D. 1990. Vol. 41. P. 383.
7. *Hoyle F.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1948. Vol. 108. P. 372.
8. *Hoyle F., Narlikar J.V.* // Proc. Roy. Soc. London. A. 1964. Vol. 282. P. 191.
9. *Jeans J.* Astronomy and cosmology. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1928.
10. *MacGibbon J.H.* // Nature. 1987. Vol. 329. P. 24.
11. *Maltsev V.K., Markov M.A.* Quantum mini-objects in general relativity. Moscow, 1980. (Prepr. / INR; P-0160).
12. *Markov M.A.* // Phys. Lett. 1964. Vol. 10. P. 122.
13. *Markov M.A.* // Progr. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr.H. Yukawa.
14. *Markov M.A.* // Proc. Friedmann centenary conference. Leningrad, 1988. Singapore, 1988.
15. *Markov M.A.* // Phys. Lett. A. 1990. Vol. 151. P. 15.
16. *Markov M.A., Zheleznykh I.M.* // Nucl. Instrum. and Meth. A. 1987. Vol. 248. P. 242.
17. *Pirani E.A.E.* // Proc. Roy. Soc. London. A. 1955. Vol. 228. P. 455.

О ВОЗМОЖНОМ СУЩЕСТВОВАНИИ В ПРИРОДЕ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ СВОБОДЫ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ*

1. ВВЕДЕНИЕ

Под асимптотической свободой гравитационных взаимодействий в данном случае понимается ослабление гравитационного взаимодействия с увеличением плотности массы.

В уравнениях Эйнштейна гравитационная постоянная $\varkappa_0$ заменяется функцией

$$\varkappa = \varkappa_0 \psi\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right), \tag{1}$$

где ρ – плотность массы материи в сопутствующей материи системе координат, ρ_0 – предельное максимальное значение плотности масс, при котором ψ-функция обращается в нуль:

$$\psi \to 0 \text{ при } \rho \to \rho_0.$$

При варьировании таким образом модифицированной функции действия Эйнштейна по метрике g_{ik} возникают уравнения, которые при $\rho \ll \rho_0$ совпадают с уравнениями Эйнштейна, описывающие, допустим, вселенную Фридмана, но при $\rho \to \rho_0$ традиционный член правой части уравнений Эйнштейна стремится к нулю (так как $\varkappa \to 0$). Добавочный же член, автоматически возникающий при варьировании модифицированной функции действия, оказывается де-ситтеровского типа, а именно, $F(\rho/\rho_0)\Lambda$, где $F(\rho/\rho_0) \to 1$ при $\rho \to \rho_0$, а константа Λ представляет собой Λ-член метрики де Ситтера:

$$\Lambda = \frac{1}{l_{\min}^2}.$$

Как в квантовой, так и в классической физике из мировых констант: c – предельной скорости распространения сигнала, e – константы минимального значения величины электрического заряда, $\hbar$ – постоянной Планка – минимальной величины действия и гравитационной постоянной $\varkappa_0$ можно построить два значения предельно малой длины и предельно большой плотности. Одно из них A – чисто классическое, т.е. не содержащее постоянной Планка $\hbar$, а именно

$$A\begin{cases} l_{\min} = \dfrac{e\varkappa_0^{1/2}}{c^2} \sim 10^{-34} \quad \text{см}, \\ \rho_0 = \dfrac{c^6 e^2}{\varkappa_0^2} \sim 10^{95} \quad \text{г} \cdot \text{см}^{-3}. \end{cases} \tag{2}$$

---

* Успехи физ. наук. 1994. Т. 164, № 1. С. 63–75.

Другое из них B содержит постоянную Планка:

$$B\begin{cases} l_{\min} = \left(\dfrac{\hbar\varkappa_0}{c^3}\right)^{1/2} \sim 10^{-33} \quad \text{см}, \\ \rho_0 = \dfrac{c^5}{\varkappa_0^2\hbar} \sim 10^{94} \quad \text{г}\cdot\text{см}^{-3}. \end{cases} \tag{3}$$

Наша задача – описать своеобразие некого *воображаемого* мира, в котором реализуется асимптотическая свобода гравитации в рамках не квантовой, а классической физики, не только сама идея о возможности существования асимптотической свободы гравитационных взаимодействий в воображаемом мире, но и соответствующий формализм, в котором главную роль играет предположение о существовании в таком мире предельно большой плотности масс ρ_0 и связанной с этим формализмом предельно малой длины $l_{\min}$. С этой точки зрения естественно взять классические значения ρ_0 и $l_{\min}$ для этого воображаемого мира. В этом случае очевидно, что воображаемая нами классическая вселенная с ее своеобразным формализмом, содержащим асимптотическую свободу, могла бы возникнуть в теории и до появления квантовой механики и могла бы в то же время претендовать на описание реально существующей Вселенной и предсказать ее начальную инфляционную фазу и де-ситтерообразную метрику в моменты возникновения Вселенной. Но очень распространено мнение о том, что будущая теория гравитации и космологии, адекватная существующей в природе, возникнет в рамках квантовой теории (или, например, в теории струн). Поэтому мы в качестве предельных величин в последующем изложении математического аппарата теории будем использовать выражения ρ_0 и $l_{\min}$, содержащие постоянную Планка. Пользуясь тем, что значения их являются произвольными в данном формализме[1], и, забегая вперед, следует сказать, что развиваемый в ряде статей формализм в случае коллапсирующих объектов, содержащих только гравитирующую материю, останавливает коллапс коллапсирующего объекта на предельной длине порядка $l_{\min}$. В случае появления во вселенной свободного гравитационного излучения асимптотическая свобода останавливает коллапс лишь в условиях сильного свободного гравитационного поля, если оно превращается в гравитирующую материю. Ниже обсуждаются различные возможности для этого, в частности, для свободного реликтового гравитационного излучения и в случае появления казнеровских возмущений метрики. В случае остановки коллапса черной дыры на расстоянии $\sim l_{\min}$ от классической сингулярности черная дыра неизбежно оказывается источником новых вселенных в другом пространстве (R''-пространстве), которое находится в абсолютно будущем времени относительно того времени, в котором образовалась данная черная дыра [22, 43].

Вследствие образования черных дыр в данной вселенной (при эволюции звезд или коллапсе закрытой вселенной) данная вселенная распадается на ряд вселенных,

---

[1] Нельзя не заметить удивительную близость численных значений, будем говорить, классических и квантовых значений предельных плотностей (ρ_0) и длин ($l_{\min}$), которые можно составить из мировых констант.

а вся вселенная в целом представляет собой совокупность многих вселенных, развивающихся в своих пространствах и временах [44]. Обсуждаются возможные связи между вселенными со связями типа "кротовых нор" и вопрос о возможном существовании на предельно малых длинах своеобразной "ультрамикрофизики", в которой нарушаются классические представления о пространстве и времени. Не исключено, что длин, меньших предельных $l_{\min}$, не существует в областях, где плотность масс принимает предельно большое значение. На классическом языке это можно интерпретировать "физически" таким образом, что эта область представляет собой абсолютно твердую среду – шарик, по которому сигнал распространяется с бесконечно большой скоростью, что, например, вблизи классической сингулярности

$$l_{\min}\big|_{\upsilon=\infty} = t = 0.$$

Другими словами, здесь времена и пространства как бы отсутствуют. В конце данной статьи цитируется работа, в которой рассматривается двумерная черная дыра в рамках теории струн. Автор ее приходит к выводу о том, что в его точном решении вблизи классической сингулярности метрика становится евклидовой вместо лоренцовой и что вся вселенная в целом представляет собой совокупность многих вселенных. Не исключено, что наше последующее описание воображаемой вселенной характеризуется асимптотической свободой гравитационных взаимодействий, содержит некоторые характерные черты будущей теории гравитации, адекватной свойствам гравитации, существующей в природе.

Но, может быть, нет необходимости менять классические уравнения гравитации? Может быть, квантованная форма этих уравнений автоматически решит космологические трудности классических уравнений? Такие соображения законны, и они часто высказываются. Прежде всего целесообразно напомнить судьбу этих высказываний применительно к известным трудностям других, т.е. не гравитационных, полей.

Как известно, все другие поля, *взятые в отдельности,* содержат трудности с бесконечными значениями энергии их точечных источников. С появлением уравнений Дирака возник вопрос: сохраняются ли эти трудности в электродинамике Дирака? В дальнейшем был получен общий ответ: квантовая теория любого из известных полей не решает обсуждаемой нами трудности.

Часто можно услышать утверждение, что в отличие от других полей у нас нет квантовой теории гравитационного поля. Строго говоря, у нас есть квантовая теория *всех* полей в отдельности, в том числе и гравитационного поля, но только в случае *слабых полей.* Это утверждение имеет тот смысл, что вблизи точечного источника, например, электромагнитного поля, когда оно становится сильным, необходимо учитывать взаимодействие электромагнитного поля электрона со всеми видами элементарных частиц, существующих в природе. Эти виртуальные процессы вносят свой вклад в собственную энергию электрона. При этом в принципе нельзя исключать и гравитоны. Изложенную ситуацию можно сформулировать фразой: "Все, т.е. любая так называемая элементарная частица, в указанном смысле, состоит из всего [12] многообразия частиц".

Как известно, расходящиеся выражения в современной теории полей во многих случаях пытались исключить различными модификациями именно *классических уравнений* полей в их релятивистской форме, например с помощью введения в соответствующие волновые функции релятивистски инвариантных обрывающих факторов, которые соответственно уменьшали бы вклад в собственную энергию источника поля высоких частот.

Были и другие классические релятивистски инвариантные рецепты избавления от обсуждаемых трудностей, начиная от так называемого "ламбда-лимитинг"-процесса и до использования индефинитной метрики.

Все эти попытки решения проблемы расходимости в теории полей оказались неудачными.

Именно они приводили к распространению сигнала в области сингулярности со сверхсветовыми скоростями. В области сингулярности как бы возникало бесконечно твердое ядро.

"Коварство" этих неудач вызвало недоумение – возникало противоречие с релятивизмом, например, при введении явно релятивистских выражений для формфакторов. Но, как выяснилось впоследствии, все недоразумение заключалось в рассмотрении проблемы в рамках только одного времени t – тогда, когда поле представляет собой систему, состоящую из бесконечного числа частиц.

Как известно, последовательная релятивистская инвариантная теория многих частиц требует введения многих времен. Такой многовременно́й формализм впервые изложен в известной работе Дирака–Фока–Подольского для квантовой электродинамики конечного числа частиц. В классической (не квантовой) электродинамике конечного числа частиц этот формализм изложен мною [37]. Я безуспешно искал многовременно́й формализм для описания бесконечного числа фотонов для самого электромагнитного поля. Когда появилась работа Томонаги [56], стало ясно, что такая проблема решена Томонагой. В формализме Томонаги, а затем Швингера [53] каждой точке (x, y, z) пространственно-подобной поверхности приписывалось свое время $t(x, y, z)$. Я же безуспешно искал обобщения формализма Дирака–Фока–Подольского на спектр фотонов, именно квантов на газ фотонов, который должен был иметь непрерывную структуру. Не исключено, что такой формализм, эквивалентный формализму Томонаги, существует.

Появление уравнения Томонаги–Швингера сделало понятным оправданную неудачу всех прежних попыток ликвидировать расходимости в теории полей в рамках одного времени для всех пространственно-подобных точек.

В этом случае историческое значение появления уравнения Томонаги–Швингера заключается в том, что все таким образом модифицированные решения уравнения поля не являются решениями последовательно релятивистского уравнения – они не удовлетворяют условию интегрируемости уравнения Томонаги–Швингера, а именно условию коммутативности соответствующих функций на пространственно-подобной поверхности, т.е. *требованию конечного значения скорости распространения сигнала.*

Другими словами, эти направления поисков решения проблемы сингулярности полей полностью закрываются требованиями *последовательной релятивистской*

инвариантности много(бесконечного)временнóго формализма уравнений Томонаги–Швингера[2].

Как известно, в настоящее время широко развит и с большой практической пользой употребляется так называемый "метод перенормировок", с помощью которого из сингулярности значений в теории полей выделяются конечные значения, которые с успехом используются в дальнейших вычислениях. К сожалению, этот способ выделения конечных величин из бесконечных значений осуществляется лишь в рамках одного поля, т.е. пренебрегается вкладом всех других существующих полей. Но главное – эта процедура является процедурой, "навязанной со стороны" естественному формализму теории поля. Неприязнь к процедуре перенормировок поддерживается известным замечанием Дирака в предисловии к русскому изданию его книги, в котором он писал, что он воздержался от изложения методов перенормировок, так как, по его мнению, они исчезнут в будущей последовательной теории поля. Более того, возникает подозрение в том, что, может быть, в законности методов перенормировок еще не до конца разобрались.

Выше содержалось замечание о том, что в собственную массу источника любого поля вносят свой вклад и другие поля, не исключая и гравитацию. Но учет вклада гравитационного поля требует знания физических законов в области длин Планка

$$l \sim 10^{-33} \text{ см}.$$

Во всяком случае, возможно, что существование в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий в сильных гравитационных полях, о которой речь пойдет в дальнейшем, поможет глубже понять физический смысл и успех перенормировок. Автором в ряде статей на протяжении последних 10 лет изучались своеобразия классических теорий гравитации, усложненных асимптотической свободой гравитационных взаимодействий. И здесь целесообразно подвести некоторые итоги, очистив этот цикл статей от необоснованных претензий, а иногда и просто от ошибочных утверждений.

---

[2] Следует сказать, что моя докторская диссертация (1943 г., диссертация не была опубликована в условиях военного времени) была посвящена многовременнóму формализму в электродинамике, и главный итог рассмотрения попыток решения проблемы расходимости точечных источников поля путем введения релятивистски инвариантных факторов противоречит системе уравнений частиц

$$\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t_s} = H_s(t_s r_s), \quad s = 1,2,3,..$$

В этом случае система уравнения просто не имеет таких решений, так как условие существования решения требует конечной скорости сигнала. Таким образом, введение релятивистски инвариантных формфакторов противоречит последовательной релятивистской теории электродинамики. Но мне не удалось эту систему бесконечного числа уравнений записать в виде одного уравнения, что было сделано Томонагой. Нарушение причинности в малой области грозит тем, что оно может повести к наблюдаемым нарушениям причинности в макрообластях. Но не исключено, что существование таких малых предельных длин в космологии не ведет к появлению наблюдаемого распространения сигнала со скоростью, большей c, в макрофизике. В дальнейшем мы, конечно, коснемся и этой проблемы. Вернее, она не приведет к нарушению естественного чередования прошлого и будущего.

* * *

Для самого простого и бедного по своему физическому содержанию воображаемого мира (вселенной) 10 лет назад (1982 г.) была предложена модификация одного уравнения Эйнштейна, в частности, в упрощенном виде [13, 41, 42]

$$\left(\frac{\dot{R}}{c}\right)^2+1=\frac{8\pi R^2\varkappa_0}{3c^2}\left[\rho\left(1-\frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right)+\Lambda'\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^2\right]. \qquad (4)$$

Это уравнение описывает историю некой мыслимой изотропной и однородной закрытой вселенной, заполненной пылевидной материей с плотностью ρ при давлении $p=0$.

В эпохи вселенной, когда плотность $\rho \ll \rho_0$, в правой части уравнения (4) остается первый член $8\pi R^2\varkappa_0\rho/3c^2$. В эту эпоху вселенной она имеет вид вселенной типа Фридмана. При коллапсе вселенной, когда возрастающая плотность материи стремится к ρ_0, в пределе $\rho=\rho_0$ первый член правой части уравнения (4) исчезает, а от второго члена остается константа Λ' размерностью плотности материи. При выборе ее выражения в виде

$$\Lambda'=\frac{3c^2}{8\pi\varkappa_0}\Lambda$$

этот член превращается в $R^2\Lambda$, где константа Λ имеет размерность $1/l^2$(см^2).

В это время вселенная в процессе $\rho\to\rho_0$ становится вселенной де Ситтера, которая не содержит в своей истории сингулярность[3]. Уравнение в виде (4) описывает воображаемую вселенную, свойства которой, казалось бы, очень далеки от свойств нашей реальной Вселенной. Но, как мы увидим из дальнейшего, некоторые свойства этой воображаемой вселенной очень полезны в поисках формализма, описывающего нашу реальную Вселенную. Следует напомнить, что уравнение (4) обсуждается в статье [13], заглавие которой дано в виде: "Предельная плотность материи как универсальный закон природы". Речь идет о плотности материи в сопутствующей системе координат. Предлагая гипотезу о существовании предельного значения плотности материи как решение проблемы сингулярности коллапсирующей вселенной (1982 г.), я по случайным причинам не знал, что эту проблему ранее обсуждал Уилер [48], и отверг ее "с порога" вследствие того, что соответствующее уравнение Эйнштейна в этом случае допускает скорость звука больше скорости света. Предложенное мной уравнение лишено этой трудности.

С другой стороны, ясно, что любая модификация теории, которая ведет к конечному значению кривизны при гравитационном коллапсе, неизбежно ведет к конечному значению плотности коллапсирующей материи.

---

[3] Это утверждение справедливо до тех пор, пока мы пренебрегаем возможностями в реальной Вселенной возникновения свободного гравитационного поля (например, типа казнеровского) или даже реликтового излучения.

Рассматриваемая модель вселенной, описываемая уравнением (4), представляет собой вселенную, вечно осциллирующую между значениями R_{max} и R_{min}. Характер этих осцилляций очень поучителен и полезен в поисках теории, способной описывать реальную Вселенную за всю ее историю. В дальнейшей серии статей, посвященных развитию физических идей, содержащихся в уравнении (4), выясняется, что в основе модификации уравнения Эйнштейна в форме (4) лежит физическое предположение о том, что при больших плотностях уменьшается гравитационное взаимодействие материи. Действительно, константу, характеризующую величину гравитационного взаимодействия, в уравнении (4) заменяет функция $\varkappa = \varkappa_0\left[1-\left(\rho^2/\rho_0^2\right)\right]$. При $\rho = \rho_0$ гравитационное взаимодействие полностью исчезает. Это свойство материи можно называть асимптотической свободой гравитационных взаимодействий. Как показывает вычисление, при коллапсировании закрытой вселенной с "голой" массой M_0 $\varkappa$ обращается в нуль лишь в случае $M_0 = \infty$. Другими словами, $\varkappa$ не может принимать отрицательные значения. Дальнейшее более углубленное понимание возможной роли асимптотической свободы гравитационных взаимодействий в решении проблемы сингулярности коллапсирующих систем, заполненных гравитирующей материей, получено в статье [46]. В уравнении (4) "руками" введен Λ-образный член, который при $\rho \to \rho_0$ ведет к уравнению де Ситтера. В статье [46] рассматривается действие S в виде

$$S = \frac{c^4}{16\pi G_0}\int (R + 2\varkappa\varepsilon) g^{1/2} d^4x.$$

Эта запись действия аналогична выражению для действия в теории Эйнштейна. Но только здесь $\varkappa$ не является константой, а представляет собой некоторую функцию от плотности энергии ε:

$$\varkappa = \frac{8\pi G_0}{c^4}\psi\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)\underset{\varepsilon\to\infty}{\to} 0, \tag{5}$$

где плотность энергии дана в выражении Фока [19], плотность же массы ρ^* удовлетворяет уравнению непрерывности

$$(\rho^* u^i) = 0.$$

Варьирование S по метрике g_{ik} ведет к уравнению

$$R_k^i - \frac{1}{2}R\delta_k^i = \left(\frac{\varepsilon\partial\varkappa}{\partial\varepsilon} + \varkappa\right)T_k^i - \varepsilon^2\frac{\partial\varkappa}{\partial\varepsilon}\delta_k^i, \tag{6}$$

где

$$T_k^i = (\varepsilon + p)u^i u_k - p\delta_k^i.$$

Уравнение (6) можно переписать в виде

$$R_k^i - \frac{1}{2}R\delta_k^i = G(\varepsilon)T_k^i + \Lambda(\varepsilon)\delta_k^i, \tag{7}$$

где

$$T_k^i = (\varepsilon + p)u^i u_k - p\delta_k^i. \qquad (8)$$

Уравнение (6) представляет собой обобщение теории гравитации Эйнштейна на случай существования в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий в математической формулировке (1). Оно оказалось поучительным тем, что асимптотическая свобода ведет автоматически к появлению Λ-образного члена, как это видно из записи уравнения в виде (7). При увеличении плотности ε первый член правой части уравнения (7) стремится к нулю и уравнение принимает де-ситтерообразный вид. В статьях [13, 41] показано, что в случае давления $p = 0$ изотропной вселенной, наполненной пылью, уравнение (6) описывает вселенную, осциллирующую между значениями $R_{\max}$ и $R_{\min}$.

Причем $R_{\min}$ связано со значением константы ε_0 в [13, 41]. Если ρ_0 в уравнении (4) и ε_0 в уравнении (5) выражать через универсальные константы c, $\hbar$, $\varkappa_0$, то $R_{\min}$, т.е. длина, на которой прекращается коллапс и начинается новый период в расширении вселенной, оказывается планковской длиной

$$l_{\rm Pl} \sim \left(\frac{\hbar\varkappa}{c^3}\right)^{1/2} \sim 10^{-33} \text{ см}.$$

Ввиду большой близости моделей вселенных, описываемых уравнениями (4) и (6), мы в целях большей простоты чаще будем пользоваться уравнением (4) для уяснения своеобразия физических свойств гравитационного поля[4], обла-

[4] Уравнение (4) не получено путем варьирования по метрике действия типа (6). Но можно получить аналог уравнения (4), предполагая функцию $\varkappa$ в виде

$$\varkappa = \varkappa_0\left(1 - \frac{\varepsilon^2}{3\varepsilon_0^2}\right).$$

Тогда функция $G(\varepsilon)$ в (7) принимает вид

$$G(\varepsilon) = \varepsilon\frac{\partial\varkappa}{\partial\varepsilon} + \varkappa = 1 - \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_0^2},$$

а член Λ'

$$\Lambda'(\varepsilon) = -\varepsilon^2\frac{\partial\varkappa}{\partial\varepsilon} = +\frac{2}{3}\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2\varepsilon_0.$$

Таким образом, возникает аналог уравнения (4) в виде

$$\left(\frac{\dot R}{a}\right)^2 + 1 = \frac{8\pi R^2\varkappa_0}{c^2}\left[\rho\left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right) + \Lambda'\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^3\right], \qquad (4')$$

где

$$\Lambda' = \frac{2}{3}\rho_0.$$

дающего асимптотической свободой, о которой шла речь выше, и что не позволяет на этом направлении идей построить приемлемую в настоящее время космологию, и есть ли какие-либо возможности эти недостатки преодолеть.

2. ПРОБЛЕМА ОЧЕНЬ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

По современным представлениям, очень ранняя вселенная возникает в образе де-ситтерообразного мира, энергия которого в форме Λ-члена в процессе расширения вселенной распадается на все формы частиц и мир де Ситтера превращается в мир типа Фридмана со всеми его своеобразиями. Начало серьезного изучения различных модификаций этого так называемого "инфляционного" периода в истории вселенной положено статьей Гуса [24].

Уравнения (4) и (6) описывают вариант такого процесса инфляции. Следует подчеркнуть, что заглавие статьи [46] дано в виде "Де-ситтероподобное начальное состояние вселенной как результат асимптотического исчезновения гравитационных взаимодействий материи". Следует заметить, что, публикуя статью с изложением свойств уравнения (4) (1982 г.), я не знал, что более десятилетия назад Глинер (в 1970 г.) в статье под названием "Вакуумообразные состояния среды и фридмановская космология" [3] писал: "Цель данной заметки – показать, что вакуумоподобное состояние физической среды (тензор энергии $T_{ik} = \Lambda g_{ik}$) может быть исходным пунктом любой из трех моделей Фридмана"[5].

В современных вариантах сверхранней вселенной от первичной материи требуется, чтобы она имела свойства скаляра. Природа этого скаляра может быть в принципе различного происхождения. Нельзя, например, исключить, что этот скаляр является газом черных дыр[6]. В этом случае уравнение типа (4) могло бы оказаться пригодным для описания очень ранней вселенной. Холодный газ черных дыр в процессе хокинговского распада мог бы естественным образом создать горячую фазу фридмановского мира, для которой уравнение (4) с $p = 0$ уже непригодно, но в принципе пригодно уравнение (6) ($p \neq 0$). При реализации обсуждаемой чернодырной гипотезы существенно более подробное знание свойств черной дыры. Именно, исчезает ли черная дыра полностью в процессе хокинговского излучения. В частности, возможно ли существование черных дыр как угодно малых масс. Есть основания полагать, что предельно малая масса черной дыры определяется мировыми константами c, $\hbar$, $\varkappa_0$, а именно, $m_{\min} \sim (\hbar c / \varkappa_0)^{1/2} \sim 10^{-5}$ г и радиусом $r \sim (\hbar\varkappa / c^3)^{1/2}$ см. В статье [38] (1965 г.) приведены соображения о возможном существовании верхней границы в спектре масс элементарных частиц,

---

[5] Можно также сказать, что Глинер возродил античную космологию Анаксагора, в которой предполагает некую первичную форму материи, "лишенной какой-либо способности движения" [18].

[6] Порождаемая первичной Λ-материей материя в образе черных дыр ведет к ряду нетривиальных следствий, относящихся к природе частиц после распада первичных черных дыр; так, не исключено, что максимальная масса в спектре масс элементарных частиц оказывается массой предельно малой черной дыры. С распадом первичных черных дыр может быть связана и барионная асимметрия.

если в природе существует фундаментальная длина

$$l_0 = \left(\frac{\hbar \varkappa}{c^3}\right)^{1/2} \sim 10^{-33} \text{ см},$$

то энергия частицы с длиной волны $\lambda = l_0$

$$E = \frac{\hbar c}{l_0} = \left(\frac{\hbar c}{\varkappa}\right)^{1/2} c^2 = m_{\max} c^2,$$

$$m_{\max} = \left(\frac{\hbar c}{\varkappa}\right)^{1/2} \sim 10^{-5} \text{ г}.$$

Таким образом, возникла гипотеза о существовании в природе максимально тяжелой частицы с массой 10^{-5} г, которая была названа "максимоном". Появление этой гипотезы не имело никакого отношения к возникшей впоследствии теории черных дыр. Впоследствии ряд авторов обсуждали возможности существования в природе такой частицы и предлагали для нее различные названия. Появление теории хокинговского излучения черных дыр (1973 г.)[7] привело к пониманию того обстоятельства, что в процессе этого излучения неизбежно появится черная дыра с параметрами, характерными для максимона. Этот объект может быть назван и элементарной черной дырой. Он должен либо мгновенно исчезнуть, высвечивая в одном акте всю свою энергию, или остаться стабильным. Существует ряд статей, обосновывающих стабильность[8] элементарной черной дыры [15, 20, 33, 35].

Имеется и, казалось бы, серьезное возражение против стабильности элементарных черных дыр, выдвинутое Хокингом [25]. Согласно Хокингу, если в каком-либо замкнутом объеме возникает какое-либо число черных дыр, то при времени $t \to \infty$ они все должны исчезнуть.

Не входя в детали термодинамических аргументов Хокинга, следует заметить, что в замкнутом объеме, наполненном как угодно большим числом стабильных элементарных черных дыр, они должны исчезать путем слияния двух или нескольких из них в большую черную дыру, которая должна высвечиваться до элемен-

[7] Может быть, не лишне напомнить, что вначале были соображения Хокинга, которые формулировались почти в виде закона, именно, что масса черной дыры может только увеличиваться. Но в это время было Фроловым и мной исследовано поведение массы заряженной материи, ушедшей под сферу Шварцшильда. Выяснилось, что такой объект, который нами еще не назывался черной дырой (1970 г.), должен излучать электрический заряд, уменьшая его до $\varepsilon \sim 137e$ [14, 39], и соответственно массу, где e – заряд электрона. Возникло противоречие с существовавшим тогда законом Хокинга. Это противоречие доставило нам много неприятностей. Я тщетно искал ошибку в наших вычислениях и пришел только, как мне казалось, может быть, к критическому выводу, что закон Хокинга справедлив в классической физике, но в квантовой физике он нарушается, и в своем докладе на Варшавской конференции (1973 г.) [40] я отважился интерпретировать этот процесс рождения, уменьшающий массу черной дыры, как процесс рождения пары в электрическом поле черной дыры: одна частица уходит на бесконечность, а другая падает на дыру, уменьшая ее заряд и массу. Помнится, этот доклад не вызвал никаких замечаний.

[8] Не исключено, что стабильным может оказаться лишь класс холодных черных дыр [12].

тарной стабильной черной дыры. Таким образом, из как угодно большого начального числа элементарных стабильных черных дыр остается лишь одна элементарная черная дыра. Таким образом, в качестве первичной скалярной материи сверхранней вселенной можно использовать и газ стабильных элементарных черных дыр (максимонов), так как имеется реальная возможность превращения газа стабильных элементарных черных дыр в процессе инфляции в горячую материю фридмановской вселенной[9]. Газ черных дыр как первичная скалярная материя представляет собой наибольший интерес в случае закрытой вселенной, для которой после фазы инфляции конечного максимального расширения предстоит фаза коллапса, которую можно назвать фазой очень поздней вселенной. Естественно предполагать, что очень поздняя вселенная должна вернуться в свою исходную де-ситтерообразную фазу. Другими словами, все разнообразие полей и частиц во фридмановской фазе вселенной снова должно вернуться к своей первичной скалярной форме. В условиях большой плотности всех форм материи в конечной фазе коллапса кажется возможной идея превращения всей материи в конечной фазе снова в скалярный газ черных дыр. Асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий дает формализм де-ситтеровской симметрии очень ранней и очень поздней закрытой вселенных. Первичная материя в форме черных дыр дает пример физики такой симметрии.

Оставляя для дальнейшего обсуждения основного порока модели (4) это недопустимое пренебрежение судьбой неизбежно возникающего в реальной Вселенной в процессе коллапса свободного гравитационного поля и имея в виду, например, рождение казнеровской метрики, представляет некоторый интерес более детальное рассмотрение роли асимптотической свободы в этой, пока, скажем, "игрушечной" модели закрытой вселенной.

Как известно, ковариантная дивергенция от левой части уравнения Эйнштейна обращается в нуль. Обращение в нуль дивергенции правой части уравнения (4) приводит к уравнению, интегрирование которого дает соотношение между плотностью массы ρ и объемом R^3 закрытой вселенной, изотропной, наполненной пылью:

$$\frac{\rho(\rho+\rho_0)^3}{|\rho_0-\rho|}=\frac{M_0\rho_0^2}{2\pi^2 R^3}. \tag{9}$$

---

[9] Следует заметить, что появление газа неэлементарных черных дыр в процессе коллапса не является новой гипотезой. Но утверждение, что в начальной и конечной фазах истории Вселенной этот газ состоит из элементарных черных дыр, представляет собой новую гипотезу, которая может вызвать возражения. Действительно, если первичная скалярная материя представляет собой газ элементарных черных дыр, которые в процессе инфляции должны в существенной части исчезнуть путем слияния в более крупные черные дыры, а они в процессе хокинговского излучения образовать всю материю фридмановского мира, то успеет ли этот процесс слияния произойти? Правда, соображения, которые приводятся в случае магнитных монополей Дирака (именно быстрое уменьшение их плотностей в процессе экспоненциального расширения Вселенной), здесь могут быть не решающими, так как в процессе экспоненциального расширения очень ранней вселенной в рамках модели (4) плотность материи черных дыр остается практически планковской. Длительность такого состояния ранней вселенной зависит от значения ее "голой" массы M_0. В это время расстояние между максимонами практически отсутствует.

Здесь положено, что константа $\Lambda' = 2\rho_0$, M_0 – значение "голой" массы закрытой вселенной.

$\dot{R} = 0$ ведет, согласно уравнению (4), к максимальному размеру вселенной R_{max} и минимальному R_{min}.

Если отважиться и ρ_0 в (4) выбрать в планковском виде, то максимальная плотность

$$\rho_0 = \rho_{Pl} = \frac{c^5}{\hbar\varkappa_0^2} \sim 10^{94} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}.$$

В этом случае

$$R_{min} \approx l_{Pl}\left(1 + \frac{m_0}{M_0}\right),$$

где

$$m_0 \approx \left(\frac{\hbar c}{\varkappa_0}\right)^{1/2} \sim 10^{-5} \text{ г}.$$

Другими словами, для всех закрытых вселенных с "голой" массой $M_0 \gg m_0 \approx 10^{-5}$ г *минимальные размеры вселенной оказываются планковскими.* Если, например, "голая" масса нашей Вселенной $M_0 \approx 10^{55}$ г, то предельно малые ее размеры в конце коллапса

$$R_{min} = l_{Pl}(1 + 10^{-60}). \qquad (10)$$

Спрашивается, а не сохранится ли это свойство и в модели, которая будет описывать реальную закрытую вселенную?

Спрашивается, сохранятся ли в будущей настоящей теории классические свойства пространства до планковских длин?

Другими словами, различны ли физически в области обсуждаемых длин поправки к планковской длине в виде $l_{Pl}m_0/M_0$?

В рассматриваемой модели (4) длина, на которой заканчивается коллапс и начинается процесс нового расширения вселенной, определяется "голой" массой вселенной. И обратно, место "отскока", место, с которого начинается новый виток осциллирующей вселенной, определяет "голую" массу M_0 в этом новом витке. Если окажется, что длины l_{Pl} и $l_{Pl}[1 + (m_0/M_0)]$ в этой области пространства неразличимы, то в последующем витке осцилляции может возникнуть вселенная с любой "голой" массой

$$M_0 \gg m_{Pl}.$$

К этому вопросу мы вернемся в конце статьи, обсудив возможность существования при $l < l_{Pl}$ физики "ультрамикромира".

Следует напомнить, что модель вечно осциллирующей вселенной типа (4) с неизменным значением M_0 не может иметь отношения к реальной Вселенной, так

как энтропия реальной Вселенной должна возрастать от осцилляции к осцилляции. Что-то должно случаться с вселенными в процессе коллапса, что устраняет обсуждаемую фундаментальную трудность с ростом ее энтропии. Большим недостатком модели (4) является пренебрежение неизбежными флуктуациями плотности массы в процессе коллапса. Максимальная плотность в модели (4), при которой прекращается коллапс, также зависит от "голой" массы закрытой вселенной

$$\rho_{max} = \rho_{Pl}\left(1 - \frac{m_{Pl}}{M_0}\right). \qquad (11)$$

Может случиться, что в процессе флуктуации в какой-то области коллапсирующей вселенной ρ_{max}, при котором прекращается коллапс, возникнет во времени раньше, чем это дается формулой (11). Не значит ли это, что в некоторых областях коллапсирующей вселенной антиколлапсный процесс может возникнуть раньше, чем в других областях вселенной. Не возникнет ли таким образом распад исходной вселенной на ряд вселенных с меньшей "голой" массой?

Прежде чем начать более подробное обсуждение таких возможностей, целесообразно заметить, что инфляция вселенной в модели (4) существенно отличается от инфляции известных моделей тем, что продолжительность де-ситтерообразной фазы очень ранней и очень поздней вселенных определяется опять "голой" массой (M_0) закрытой вселенной. В случае $M_0 \sim 10^{55}$ г де-ситтерообразная фаза, при которой плотность массы остается практически постоянной, в процессе инфляции длится от $R \approx l_{Pl} \sim 10^{-33}$ до $R \sim 10^{-13}$ см. В случае давления $p \neq 0$ [2] – до $R \sim 10^{-3}$ см. Обсуждаемый вариант модификации уравнений Эйнштейна, как это не раз подчеркивалось выше, основывается на предположении о существовании асимптотической свободы гравитационных взаимодействий. Важно подчеркнуть одно существенное следствие этой гипотезы для понимания физических следствий асимптотической свободы на природу частиц, составляющих материю, в уравнениях (4) и (4'). Как следует из этих уравнений, первый член правой части их при стремлении плотности $\varepsilon \to \varepsilon_0$ в пределе ε_0 исчезает. Это обстоятельство привело к неверному замечанию в ряде моих статей о том, что формализм уравнений (4), (4') и (6) содержит как рождение, так и уничтожение частиц. Особенно это касалось уравнения (4). Но, как следует из текста (см. [46]), при варьировании действия применялся метод Фока [19], в котором используется выражение для плотности числа частиц n, удовлетворяющих уравнению непрерывности, что характерно вообще для любой классической гидродинамической модели

$$(nu^i)_{;i} = 0. \qquad (12)$$

Обсуждаемую ситуацию можно описать таким образом: частицы не исчезают в процессе коллапса, но каждая из частиц становится все более "бесплотной" (меньшей массы), вернее, меньше "весит" вследствие ослабления гравитационного взаимодействия. К моменту прекращения коллапса начальное число частиц сохраняется в виде почти бесплотных их "душ".

Из предыдущего следует, что для описания фаз очень ранней и очень поздней вселенных предполагается для тензора энергии-импульса именно гидродинамическая форма, в частности, пылевидной материи. Если окажется, что наша Вселенная не закрытая, то проблема коллапса очень поздней вселенной вообще отсутствует. Но тем не менее проблема коллапса остается проблемой и в этом случае. В открытой вселенной неизбежно возникает коллапс массивных звезд и в конце концов коллапс черных дыр.

Возвращаясь к идее существования в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий и возможной ее роли в решении проблемы сингулярности в процессе гравитационного коллапса, напомним, что проблема сингулярности, о которой идет речь, может быть решена только при условии, что асимптотическая свобода имеет прямое или не прямое отношение к свободному гравитационному полю. Говоря точнее: может ли псевдотензор энергии гравитационного поля в условиях коллапса вселенной обязательно превратиться в тензор в какой-либо материальной форме и тогда возникает в правой части добавкой к общему тензору материи?

В самом простом случае речь идет, например, о судьбе реликтовых гравитонов, по-видимому, существующих в настоящее время в нашей Вселенной, об их судьбе в процессе коллапса. Если вопреки нашим надеждам реликтовое излучение не войдет в какой-либо материальной форме в правую часть уравнения (4), то существование свободного гравитационного поля в конечной фазе коллапса неизбежно приведет к сингулярности.

Существуют оценки сечения рождения электронно-позитронных пар двумя гравитонами. Вероятность этого процесса растет при коллапсе вселенной, и если осмелиться продолжать эти оценки до волн гравитонов планковских длин, то возможно превращение реликтовых гравитонных волн в гравитирующую материю, и это дало бы возможность асимптотической свободе гравитационных взаимодействий устранить угрозу возникновения сингулярности.

Спрашивается также, может ли сильное свободное гравитационное излучение образовывать черные дыры? Согласно Изаксону, интеграл от псевдотензора в условиях плоского пространства на бесконечности обладает уже свойствами тензора. Для коротких волн условие на бесконечности можно ослабить [4]. Таким образом, из гравитационного поля могли бы возникать гравитирующие объекты, для которых должна в уравнении (4) учитываться асимптотическая свобода. Следует заметить, что совокупность волн различных направлений обладает массой покоя [4].

В случае возникновения казнеровских сильных полей в фазе очень поздней вселенной здесь также остается надежда на рождение частиц в условиях очень сильной анизотропии. Для этого процесса тоже есть известные основания. Здесь имеется в виду процесс изотропизации казнеровской анизотропии в очень ранней вселенной в результате бурного рождения материальных частиц. Последние соображения обосновывают необходимость квантования сильного гравитационного поля, если не с целью решения проблемы коллапса в немодифицированных уравнениях Эйнштейна, то вследствие необходимости иметь законченную теорию взаимодействия всех полей.

В дальнейшем мы не будем детально обсуждать возможности модификации левой части уравнения Эйнштейна, сошлемся лишь на недавно появившуюся статью под названием "A nonsingular universe" [49]. Для сравнения предполагаемой далекой идентичности физического содержания этих двух, казалось бы, столь различных модификаций уравнений Эйнштейна можно привести часто обсуждаемую модификацию уравнений Эйнштейна, когда в исходной функции действия S заменяется на выражение

$$R \to R + \beta R^2,$$

где β – константа.

Возникающую в новой форме левую часть уравнения можно преобразовать к ее старой форме[10]. Тогда в правой части уравнения возникает T_0^0 в форме

$$T_0^0 = \varkappa_0 \varepsilon \left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} + \ldots\right) = \varkappa_0 \varepsilon f\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right).$$

Теперь $\varkappa_0 f(\varepsilon/\varepsilon_0)$ играет роль "гравитационной константы", стремящейся к нулю с ростом плотности энергии ε. Другими словами, в этом примере возможной модификации левой части уравнений Эйнштейна в математическом формализме вскрывается реализация асимптотической свободы. Кстати, некоторые варианты такой модификации приведены в той же статье, в которой предложено уравнение (4). Можно указать,что в примере, демонстрирующем роль асимптотической свободы в остановке коллапса, в статье [46] взята функция f в виде

$$f = \left(1 + \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^{-2} \sim 1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} + \ldots$$

Более подробное обсуждение предполагаемой большой идентичности физического содержания этих двух возможностей модификации уравнений Эйнштейна будет уместно с появлением в печати продолжения статьи, на которую ссылаются авторы статьи [49].

В дальнейшем нам предстоит напомнить содержание цикла статей, посвященных коллапсу черных дыр, предполагая, что проблема сингулярности коллапса вселенной решена и что в природе существует предельное значение кривизны пространства, что, например, максимальное значение тензора Римана дается выражением

$$R_{\mu\nu\delta\gamma} R^{\mu\nu\delta\gamma} = \frac{1}{l_0^4},$$

---

[10] Это сделано, например, В.К. Мальцевым (англо-советский семинар, Москва, 1990). Приводимый нами пример ($R \to R + \beta R^2$) возникновения эффекта типа асимптотической свободы следует рассматривать лишь как намек на возможность появления асимптотической свободы на пути модификации левой части уравнения Эйнштейна. Но данная форма модификации не устраняет сингулярности, возникающей при коллапсе.

где l_0 – длина Планка

$$l_0 = l_{\mathrm{Pl}} = \left(\frac{\hbar\varkappa}{c^3}\right)^{1/2} \sim 10^{-33} \text{ см.}$$

Массивная звезда, охлаждаясь в процессе излучения, превращается в нейтронную звезду. При достаточно большой массе нейтронная звезда продолжает сжиматься гравитационными силами, и может наступить такой момент, когда вся ее масса окажется под сферой Шварцшильда. Таким образом, возникает черная дыра. Коллапс черной дыры существенно отличается от коллапса закрытой вселенной. Если для закрытой вселенной, хотя бы в принципе, мыслима вечно осциллирующая модель, в которой коллапс сменяется расширением, то такая возможность для черной дыры исключена. Дело в том, что полное пространственно-временно́е описание под сферой Шварцшильда дается диаграммой Крускала [31]. В полной диаграмме пространства–времени Крускала траектория свободной частицы должна исходить из сингулярности или бесконечности и оканчиваться в бесконечности или сингулярности.

Диаграмма Крускала содержит под сферой Шварцшильда две области, одна из которых T_--область, куда частица попадает, пересекая извне поверхность Шварцшильда. И в этой области обязана закончить свое движение, достигая сингулярности; и для частицы, возникшей в сингулярности, имеется область T_+, в которой траектория частицы, рожденной в сингулярности, обязана двигаться в T_+-области от сингулярности изнутри к поверхности Шварцшильда и, пересекая ее, двигаться в пространстве вне сферы Шварцшильда. Это так называемое второе пространство (R'') в отличие от R'-пространства, в которое частица попадает под сферу Шварцшильда и двигается к сингулярности в T_--области, используя в своем движении к сингулярности все время существования. Если бы каким-либо образом частица, пришедшая из R'-пространства, могла бы появиться вблизи сингулярности в T_+-области, то, пересекая поверхность Шварцшильда, она оказалась бы во втором (R'') пространстве, где время снова отсчитывается от нуля. Другими словами, второе пространство R'' находится в абсолютном будущем по отношению к первому пространству.

Напомним, что более 20 лет назад (точнее, в 1966 г.) в "Астрономическом журнале" появилась статья И.Д. Новикова под названием "Смена сжатия расширением и физические особенности при сжатии" [17]. В этой статье в рамках классической физики рассматривается судьба (т.е. "траектория") коллапсирующей электрически заряженной звезды, именно электрическим полем материи останавливается ее коллапс. В этом случае автор пришел к выводу, что черная дыра после "остановки" коллапса в T_--области диаграммы Крускала начнет расширяться в T_+-область и выходит в другое R''-пространство, лежащее в абсолютном будущем к исходному шварцшильдовскому R'-пространству.

Но данный конкретный случай с электрически заряженной звездой оказался неудачным потому, что в случае учета рождения частиц электромагнитным полем звезды остановки коллапса звезды просто не происходит.

Но если какая-нибудь модификация уравнений Эйнштейна сохраняет конечное значение всех кривизн в процессе коллапса черной дыры, другими словами, мате-

рия черной дыры не продвигается в своем движении до сингулярности, то, воспользовавшись соображениями статьи [17], можно утверждать, что в этом случае материя черной дыры может оказаться в T_+-области и, двигаясь под сферой Шварцшильда в направлении от сингулярности, должна пересечь поверхность Шварцшильда и оказаться во втором R''-пространстве, образуя в нем новую вселенную.

На конференции, посвященной столетию со дня рождения А.А. Фридмана (1988 г.), доклад на эту тему был озаглавлен "Коллапс звезд как возможный источник закрытых и полузакрытых вселенных" [43].

В 1990 г. в "Physics Letters" появилась статья трех авторов на ту же тему под заглавием "Black holes as a possible source of closed and semiclosed worlds" [22]. Следует иметь в виду, что развитие новых вселенных происходит в R''-пространствах во временах абсолютно будущих по отношению к временам вселенных, где происходит образование черных дыр. Например, в статье [43] в связи с этим сказано, что наша Вселенная, может быть, возникла из черной дыры, которая образовалась в некой вселенной, существовавшей в абсолютном прошлом времени, т.е. времени, которое было исчерпано в процессе существования черной дыры, и отсчет его в новой вселенной начинается снова с нуля.

Так как в процессе существования вселенной и в случае ее коллапса черных дыр образуется много, то мы несколько конкретизируем процесс распада очень поздней вселенной на множество вселенных, о котором в немного другой связи уже шла речь при обсуждении проблемы энтропии в вечно осциллирующей модели вселенной.

Если предыдущие соображения о возникновении вселенных справедливы, то много новых явлений может реализоваться в космологии. Можно напомнить, что еще Джинс в 1928 г. [29] высказал предположение, что в "центрах туманностей материя втекает в наш мир из иного постороннего пространства". Новиков [16] и Нееман [50] высказывали соображения, что галактики – это особые участки нашей Вселенной, которые по каким-то причинам отстали в своем развитии от целой вселенной. Это отставание во времени было бы объяснимо, если бы галактики вливались в нашу Вселенную из других вселенных в тех процессах, о которых речь шла выше.

С этой точки зрения центральная область ядра галактики в начальный момент ее образования должна бы иметь метрику де Ситтера и характеризоваться своим инфляционным процессом. С этой точки зрения количество материи в начальном состоянии галактики может быть самым различным по своей величине. Другими словами, могли бы возникать и микрогалактики. Может быть, чаще всего пришельцы из абсолютного прошлого в нашу Вселенную могут оказаться минимальными белыми дырами и даже единичными максимонами. Но даже если окажется, что ядра наблюдаемых галактик имеют совсем другую природу, то описываемая нами возможность возникновения пришельцев из прошлого в нашу Вселенную в виде отдельных максимонов или их групп в различные моменты истории нашей Вселенной тем не менее существует и они могли образовывать среду темной материи [36] в виде максимонов в форме элементарных белых дыр.

Согласно развиваемой выше идее о природе темной материи из одних максимонов, максимоны, не обладающие электрическим зарядом, практически не вза-

имодействуют с веществом. Для них небесные тела прозрачны [38]. Поэтому наша современная Вселенная представляла бы собой небесные тела, беспрепятственно двигающиеся в среде максимонов. Ни нейтрино, ни другие виды излучения практически не взаимодействуют с темной материей. Возможно лишь слияние двух или нескольких столкнувшихся максимонов в одну черную дыру большей массы.

В принципе возможно слияние двух или нескольких элементарных черных дыр с последующим хокинговским излучением, и такое излучение нейтрино малыми черными дырами из ядер галактик могло бы быть зарегистрированным в нейтринных экспериментах в детекторах типа ДЮМАНД [46]. Здесь особый интерес представляют собой энергии $E_\nu \sim 10^{16}$ эВ и $E_\nu > 10^{19}$ эВ. Следует подчеркнуть, что процесс появления материи в нашей Вселенной, приходящей из других вселенных, может рассматриваться как процесс, имитирующий рождение материи в нашей Вселенной. Имеется много моделей вселенных с непрерывным рождением в них материи. Не возникнет ли конкретная возможность реализовать эти модели в рамках развиваемых выше представлений [21, 26, 27]?

В статье [22] утверждается возможность возникновения "полузакрытых миров". Замкнутый мир характеризуется тем, что масса его материи (так называемая "голая" масса частиц) так уменьшается гравитационными силами, действующими между частицами материи, что полная энергия закрытой вселенной оказывается равной нулю.

У замкнутой вселенной нет внешнего пространства, нет внешнего наблюдателя, который мог бы констатировать существование вселенной. Замкнутая, или, что то же, "закрытая", вселенная электрически нейтральна. Но закрытая, или замкнутая, вселенная обладает одним поразительным свойством. Если в такую вселенную (допустим нашу Вселенную, если она замкнута) вложить один-единственный электрон, вселенная перестает быть замкнутой, появляется внешнее пространство, в котором возникает электрическое поле Кулона. У вселенной открывается горловина, и вся вселенная ведет себя как частица с очень малой массой порядка массы максимона[11].

Лет 20 назад (1973 г.), воодушевленный статьей О. Клейна [30] о возможности полузакрытых миров, я опубликовал статью под названием "Микро-макросимметрическая вселенная" [11], которой предпослал первые две строфы из стихотворения Брюсова "Мир электрона":

Быть может, эти электроны –
Миры, где пять материков,
Искусства, знанья, войны, троны
И память сорока веков!

Еще, быть может, каждый атом –
Вселенная, где сто планет;
Там все, что здесь в объеме сжатом,
Но также то, чего здесь нет.

---

[11] Вселенная раскрыта также, если в ней окажется одно нейтрино. Закрытая вселенная не обладает вращением (спином). Закрытая вселенная с одним нейтрино представляет собой как бы нейтрино с массой максимона.

В основе статьи, о которой идет речь, лежит внутренне непротиворечивая возможность О. Клейна и общие соображения, связанные с известной фразой Дирака, которой заканчивается одна из его работ: "Было бы странно, если бы природа не использовала эту возможность". И вот такая возможность возникла.

Здесь речь идет о вселенной с как угодно большими горловинами, которая содержит внешнюю массу данной вселенной. Возможно, что эта масса могла бы излучаться объектом, как и в случае обычной черной дыры. В статье [40] этот объект даже назван черной дырой второго рода. Если масса горловины может излучаться полностью, то возникла бы закрытая вселенная. Если останется предельно малая масса горловины, то данная вселенная будет себя вести во внешнем пространстве как, скажем, элементарная частица, и есть основания полагать, – в виде максимона. Таким образом, не исключено, что наша Вселенная наполнена огромным количеством частиц, часть из которых на самом деле является вселенными.

Подводя итог сказанному выше, вселенная в целом может оказаться своеобразной структурой, состоящей из множества вселенных, развивающихся в своих пространствах и временах. Эту вселенную нельзя изобразить на бумажном листе как, например, множество вселенных [6]. Она скорее напоминает русскую куклу "матрешку". Только внутри каждой из "матрешек" содержится множество других "матрешек" и т.д. Такой образ вселенной в целом обсуждается в статье [44]. Естественно, такая вселенная в целом не имеет ни начала, ни конца.

В цикле обсуждаемых нами работ по космологии в этом десятилетии стоит упомянуть обсуждение проблем, связанных с принципом Маха.

Как известно, уравнение Эйнштейна содержит большое количество разнообразных космологических решений. Современное состояние Вселенной довольно хорошо описывается решениями уравнения Эйнштейна, найденными А.А. Фридманом. Но эти решения непригодны для описания очень ранней вселенной. Более того, для очень ранней вселенной оказываются естественными решения типа де Ситтера. Спрашивается, нельзя ли ограничить "божественные" возможности этими двумя типами решений? Для исследования поставленной проблемы оказывается удобной запись уравнений Эйнштейна в виде, аналогичном в электродинамике интегральному уравнению Янга–Фельдмана [1, 8, 23, 32, 34, 54]

$$g_{\mu\nu} = \frac{8\pi\varkappa}{c^4}\int G^{\alpha\beta}_{\mu\nu}\, T_{\alpha\beta}(y)(-g(y))^{1/2}\, \mathrm{d}^4 y + A_{\mu\nu}, \qquad (13)$$

где $G^{\alpha\beta}_{\mu\nu}$ – аналог функции Грина, $A_{\mu\nu}$ – свободное гравитационное поле. Если в этом уравнении положить $A_{\mu\nu} = 0$, то $g_{\mu\nu}$ отлично от нуля, если только $T_{\alpha\beta} \neq 0$.

Другими словами, в этой теории ($A_{\mu\nu} = 0$) пространство существует лишь в том случае, когда $T_{\alpha\beta} \neq 0$, т.е. само существование пространства связано с наличием материи. *Принципом существования пространства*[12] ($A_{\mu\nu} = 0$) сразу лишается смысла рождение вселенной "из ничего", существование "пустых пространств", начиная с

[12] Пока не доказано, что (13) при $A_{\mu\nu} = 0$ содержит принцип Маха, но оно содержит принцип существования пространства только при наличии материи.

пространства Минковского, и даже асимптотически плоских метрик типа Шварцшильда. Много лет существовало мнение, что пространство де Ситтера представляет собой также пустое пространство. Это мнение основывалось на том, что соответствующая этому случаю материя должна обладать состоянием

$$\varepsilon + p = 0,$$

где ε – плотность энергии, p – плотность давления.

А такая материя не встречается в природе. Но постепенно пришли к пониманию, что речь идет об очень ранней вселенной.

Такое состояние материи возможно. Условие $A_{\mu\nu} = 0$ не означает также отсутствие возникновения гравитационных волн. Но лишь в данном четырехмерном мире они всегда должны иметь материальный источник своего возникновения. Уравнение с $A_{\mu\nu} = 0$ рассматривалось рядом авторов с точки зрения наличия или отсутствия в теории Эйнштейна принципа Маха. Вследствие математической сложности исследования уравнения (13) работы в этом направлении не дали определенных реультатов. Мной было предложено В.К. Мальцеву ограничиться исследованием конформно плоских пространств:

$$g_{\mu\nu}(x) = \varphi^2(x)\eta_{\mu\nu},$$

где

$$\eta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

В отличие от работ других авторов здесь вместо десяти величин $g_{\mu\nu}$ требуется нахождение одной функции $\varphi^2(x)$.

Для определения одной функции $\varphi^2(x)$ нами используется уравнение Эйнштейна в виде

$$R = \frac{8kT}{c^4}, \quad T = T_{\mu\nu}g^{\mu\nu}.$$

В этих случаях удается показать, что в числе допустимых метрик этого формализма существует решение как фридмановского, так и де-ситтеровского типа [7]. Не исключено, что "божественные" возможности, о которых писал Эйнштейн, ограничиваются такой цепочкой вселенных Фридмана и де Ситтера.

Однако наиболее интересным результатом этого упрощения (скалярного) формализма гравитации является то, что в случае $A_{\mu\nu} = 0$ при наличии массивного центрального тела ($M > 0$) пробное тело, взятое как таковое, не взаимодействует по закону Ньютона с массивным центральным телом M, т.е. движение пробного тела в случае $A_{\mu\nu} = 0$ не определяется массой M центрального тела. Значение массы просто выпадает из уравнения движения пробного тела. Но если массу пробного тела m учесть в значении T наравне с массой центрального тела (M_0), то тогда возникает

между ними ньютоновское взаимодействие. Другими словами, только при учете влияния на метрику как массы "центрального" тела, так и массы пробного тела между ними возникает гравитационное ньютоновское взаимодействие. Возможно, это одно из характерных свойств физики, в которой справедлив принцип Маха, правда, в очень обедненной скалярной теории гравитации. Но этот результат вселяет некоторую веру в то, что более основательное исследование интегрального уравнения (13) может привести к доказательству существования принципа Маха.

Реализация принципа Маха в интегральном формализме теории гравитации привлекательна тем, что свободное гравитационное поле возникает в этой теории только за счет тензора материи.

Если в интегральном формализме ввести условие асимптотической свободы, то возникающее свободное гравитационное поле за счет тензора материи может оказаться под влиянием фактора, характеризующего асимптотическую свободу.

А то обстоятельство, что возникающий псевдотензор энергии гравитационного поля в этом формализме автоматически интегрируется по всему четырехмерному пространству, оставляет надежду [28], что появляющаяся таким образом энергия (масса) гравитационного поля действительно характеризуется асимптотической свободой. Другими словами, проблема сингулярности, которая нас занимала на предыдущих страницах и которую мы пытались решить, в частности, в рамках физических квантовых эффектов, при реализации принципа Маха может быть решена в общем виде еще в классической физике. Но эти интуитивные соображения пока не подтверждены математически и, скорее всего, не соответствуют действительности, т.е. если в этом случае не происходит "полная изаксонизация" гравитационного излучения [28] – псевдотензор излученного поля в каждом акте излучения приобретает свойство тензора. Во всяком случае, точный ответ на этот вопрос могло бы дать уравнение типа (13), в котором $\varkappa$ было бы задано функцией (1).

3. О ВОЗМОЖНОМ СУЩЕСТВОВАНИИ ОСОБОЙ ФИЗИКИ "УЛЬТРАМИКРОМИРА" В ОБЛАСТИ ПЛАНКОВСКИХ ДЛИН

На предыдущих страницах мы рассматривали проблему, предполагая, что в области, близкой к сингулярности, классические свойства пространства–времени полностью сохраняются в области меньших планковских длин ($l \sim 10^{-33}$ см) и времен, меньших $t \sim 10^{-43}$ с.

Еще полвека назад (1940 г.) для преодоления трудности с сингулярностью полей была предложена идея нелокальности в форме некоммутативности полей $\varphi(x)$ и координаты, другими словами, некоммутативность координат [28], что вело также к распространению сигнала со скоростью, большей скорости света. Может быть, целесообразно изменить точку зрения о недопустимости мгновенных сигналов в космологии на обсуждаемых планковских длинах. Эта возможность обсуждается в статье [9].

В случае бесконечной скорости сигнала на пути l_{Pl} теряет свой смысл время как расстояние l, деленное на скорость $l/\upsilon(\to \infty) = t = 0$. Если области T_- и T_+ на диаграмме Крускала разделены абсолютно твердым ядром радиуса, равного длине

Планка, то материя черной дыры в процессе коллапса, достигая расстояния от сингулярности, в T_--области оказывается мгновенно на расстоянии l_{Pl} от сингулярности в T_+-области. Другими словами, обладая таким свойством, критическая длина l как бы не существует в пространстве.

Необязательно пространство представлять в виде какой-то решетки. Например, классические свойства пространство могло бы терять только в условиях области предельной плотности материи. Кстати, для измерения предельно малой длины наблюдателем неизбежно используется длина волны, т.е. квант предельной плотности материи. Такое толкование физики предельной длины, по-видимому, не ведет к наблюдаемым нарушениям причинности в макромире, нарушениям макроскопической связи между настоящим и будущим.

На предыдущих страницах высказано скорее скептическое отношение к решению обсуждаемых проблем гравитационного коллапса в рамках будущей квантовой теории сильного гравитационного поля. Но естественное присутствие длины Планка $l_{Pl} = (\hbar\varkappa / c^3)^{1/2}$ в конечном выражении кривизны тензора Римана

$$R_{\mu\nu\lambda\delta}R^{\mu\nu\lambda\delta} = \frac{1}{l_{Pl}^4},$$

вернее, присутствие постоянной Планка в данном формализме, кажется, сильно свидетельствует не в пользу упоминаемого скепсиса. Но в [9] рассматривается возможность появления фундаментальной длины, связанной с нарушением классических характеристик *самого* пространства, которые *в квантовой теории не имеют места* (имеется в виду, например, некоммутативность координат, выражение для которых могло бы содержать $\hbar$). Согласно предыдущему, не исключено, что очень ранняя и очень поздняя вселенные описываются гидродинамической материей в форме холодного газа черных дыр.

Конечно, очень соблазнительно образ этой развиваемой нами теории классической вселенной, ее истории расширить до предельно малых размеров, приняв в качестве предельной плотности выражение, состоящее из мировых констант c, $\varkappa$, $\hbar$:

$$\rho_0 \sim \frac{c^5}{\hbar\varkappa^2} \sim 10^{94} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3},$$

тогда предельные малые размеры в истории вселенной, действительно, определяются длиной Планка

$$R_{min} \sim \left(\frac{\hbar\varkappa}{c^3}\right)^{1/2} \sim 10^{-33} \text{ см}.$$

Очевидно, и это следует подчеркнуть, в этом случае мы вступаем в область гипотез, которые пока не подтверждены каким-либо формализмом. Конечно, повторяем, не исключено, что квантование сильного нелинейного гравитационного поля в будущей теории автоматически приведет к существованию в природе такой предельной длины, но также возможно, что эти надежды не оправдаются. Конечно, появление в выражении R_{min} постоянной Планка делает естественной идею связать

появление $R_{\min}$ с формализмом квантовой механики. Но здесь нужна и некоторая осторожность: квантовая теория всех других полей не содержит такого рода предельной длины. Формализм квантовой механики формулируется в рамках классических представлений о пространстве при как угодно малых длинах.

С другой стороны, нужна известная смелость утверждать, что наше представление о пространстве справедливо до любых малых размеров. Нельзя исключить a priori такую ситуацию, когда физика квантовой механики существенно модифицируется при наличии в природе предельной длины. Обычно существование предельной длины связывается с представлением пространства как некоторой решетки. Здесь идет скорее речь о своеобразном отсутствии длин меньше планковских лишь в областях, где возникает предельная плотность материи. Еще раз подчеркнем, что в классической интерпретации отсутствие длин меньше планковских могло бы иллюстрироваться малой областью типа бесконечно твердого шарика, в которой сигнал распространяется с бесконечной скоростью, так что понятие длительности сигнала – времени его распространения – отсутствует [9]. В случае появления вселенных в результате эволюции черных дыр [46] детерминировано все, но здесь в принципе не исключается нарушение всех законов сохранения. Если угодно, в этом образе пространство вблизи классической сингулярности интерпретируется в духе "черного ящика", о котором идет речь в известной статье Уилера [48]. Не исключено, что в "ультрамикромире" при возникновении предельной плотности царит "беззаконие", а сама постоянная Планка появляется как комбинация мировых констант

$$\hbar = \frac{c^5}{\varkappa_0^2 \rho_0}.$$

Предлагаемая модель вселенной в целом – совокупность вселенных, рождающихся и развивающихся в своих пространствах и временах. Если она в каком-то общем смысле соответствует действительности, то возникает вопрос о том, что представляют собой эти отдельные вселенные. Например, мы не знаем, является ли наша Вселенная открытой или закрытой. Не исключен также вопрос: возможно ли существование вселенной полностью закрытой, если в принципе возможно появление в ней материи черных дыр из вселенных, существовавших в абсолютно прошлом времени по отношению к временам данной вселенной, или просто потому, что существование предельной длины не позволяет вселенной полностью закрыться?

В статьях, посвященных развиваемой нами модели вселенной, в целом часто используется в качестве первоматерии в инфляционной фазе очень ранней вселенной газ черных дыр вместо обычно обсуждаемого скалярного поля. Такая первоматерия содержит ряд привлекательных черт, но эта гипотеза органически не связана с обсуждаемой нами моделью вселенной в целом. Но кажется, она имеет право на обсуждение. Также имеет право на обсуждение и темная материя в виде стабильных элементарных дыр или частиц, масса которых выражается в виде

$$m = \alpha\left(\frac{\hbar c}{\varkappa}\right)^{1/2}.$$

Но α такова, что материя этих частиц не находится, например, под сферой Шварцшильда. Любопытно, что такие частицы, в том числе и стабильные элементарные черные дыры, практически не взаимодействуют с обычной материей, но довольно сильно взаимодействуют друг с другом:

$$E = \frac{m^2 \varkappa}{r} = \frac{\alpha^2 \hbar c}{r},$$

при $\alpha \sim 1$ две такие частицы взаимодействуют друг с другом на 2 порядка сильнее, чем кулоновское взаимодействие двух электронов... Но наиболее интересное научное событие, которое привлекло внимание автора, – это появление препринта (В.П. Фролов и др.), озаглавленного "Wormholes as device for study of black holes interior" (Nordita, preprint 93/8A). Как известно, существуют возражения против применимости боровской интерпретации квантовой теории, например, для таких объектов, как закрытые вселенные, как физика материи под сферой Шварцшильда. Существование "кротовых нор" вписывается в общую картину той мыслимой модели, о которой речь шла выше. В том смысле, что множественные вселенные представляют собой некий связанный организм.

Следует также упомянуть, что если асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий действительно ведет к конечному значению предельной кривизны, то на основании результатов статьи [22] в принципе возможно создание новых вселенных в лаборатории, если в лаборатории можно получать черные дыры, сжимая какое-то количество материи за ее гравитационный радиус. Но также надо подчеркнуть, что эта возможность может реализоваться и в любой другой космологической теории, в которой существует предельное значение кривизны. Существование асимптотической свободы гравитационных взаимодействий может существенно изменить теорию элементарных частиц. Это, например, касается электродинамики, если сохранится современный характер этой теории с ее логарифмической расходимостью. Существование в природе предельной плотности энергии, естественно, меняет формализм электродинамики. И фундаментальная важность для теории элементарных частиц роли гравитационного поля высказывалась еще в статьях Маркова (1947 г.) [10], Ландау и Померанчука (1955 г.) [5].

Пока нельзя исключить, что все действительно элементарные частицы с массой покоя, отличной от нуля, будут характеризоваться логарифмической расходимостью в случае пренебрежения гравитационным полем.

Появление свободного гравитационного поля во вселенной, заполненной материей, доставляло, как следует из статьи автора, много забот. При попытках решения этой проблемы возник ряд гипотез, которые пока имеют право на существование.

Но в случае их неудач возникает одна, может быть, почему-либо неприемлемая идея.

Выше обсуждалась возможность в процессе коллапса разделения вселенной на ряд вселенных, если в процессе коллапса предельные плотности возникают в отдельных областях не одновременно. В этих областях возможна неодновременная остановка движения коллапсирующей материи, для которой возникает начальная фаза расширения. Представим себе такую ситуацию, когда во вселенной для всей

коллапсирующей материи возникает момент остановки коллапса. Если в данной вселенной присутствует свободное гравитационное поле, то не возникает ли такая ситуация, когда оказываются две вселенные, одна из которых заполненная материей, начнет расширяться, а другая, заполненная свободным гравитационным излучением, начнет даже сжиматься и в конце концов превращаться в точечную закрытую сингулярность, если и в этом случае требовать сохранения закона предельной плотности массы. Да, в этой точке будет бесконечное значение кривизны, но спрашивается, имеет ли этот закрытый объект какой-либо физический смысл?

Наконец, последнее критическое замечание. Конечно, физики, занимающиеся космологией, могут принять возможность существования в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий и связанного с ней предельного значения плотности материи. Может быть, автором угадано много реальных черт реальной Вселенной. Но вряд ли для них приемлемо, что ψ-функция, описывающая асимптотическую свободу гравитационных взаимодействий, в действительности имеет вид, например

$$\psi \approx \psi_0\left(1-\frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_0}\right).$$

Спрашивается, из какого формализма будущей последовательной теории гравитации может возникнуть существующая в природе функция ψ? В свое оправдание можно только сказать, что ψ-функция должна находиться в классе функций, которые имеют вид

$$\psi\left(\frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_0}\right)\to 0,$$

если $\varepsilon \to \varepsilon_0$ или даже при $\varepsilon \to \infty$.

Как неполноту данного обзора следует отметить отсутствие даже упоминания новых теорий, именно попыток искать новые возможности в теории гравитации на основе своеобразных свойств, в частности теории струн.

Здесь мы имеем в виду, например, статью M.J. Perry, E. Teo "Nonsingularity of the exact two-dimensional string black hole" [51], в которой утверждается, что вблизи классической сингулярности возникает область не лоренцевой, а евклидовой метрики[13] и вся вселенная представляет собой совокупность вселенных, связанных "кротовыми норами". Не исключено, что при всем различии "струнного" подхода и обсуждаемого нами формализма последующая полная картина вселенной может иметь много общих черт.

Может быть, когда-нибудь окажется экспериментальная возможность обнаружить уменьшение гравитационной постоянной в условиях большой плотности материи.

---

[13] Этот результат, казалось бы, близок или даже аналогичен обсуждаемым нами возможностям существования своеобразной "субмикрофизики" при планковских или субпланковских длинах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Альтшулер Б.* // ЖЭТФ. 1966. Т. 51. С. 1143.
2. *Аман Э.Г., Марков М.А.* // ТМФ. 1984. Т. 58. С. 163.
3. *Глинер Э.Б.* // Докл. АН СССР. 1970. Т. 102. С. 771.
4. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Я.* Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975. С. 486.
5. *Ландау Л.Д., Померанчук И.Я.* // Докл. АН СССР. 1955. Т.103. С. 489.
6. *Линде А.Д.* Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М.: Наука, 1990.
7. *Мальцев В.К.* // ТМФ. 1990. Т. 83. С. 476.
8. *Мальцев В.К., Марков М.А.* // Тр. ФИАН. 1977. Т. 97. С. 11.
9. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1940. Т. 10. С. 1311.
10. *Марков М.А.* // Там же. 1947. Т. 17(9) С. 848.
11. *Марков М.А.* // Будущее науки. М.: Знание, 1973.
12. *Марков М.А.* О природе материи. М.: Наука, 1976. С. 140.
13. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 214.
14. *Марков М.А., Фролов В.П.* // ТМФ. 1970. Т. 3. С. 3.
15. *Муханов В.Ф.* // Письма в ЖЭТФ. 1981. Т. 33. С. 549.
16. *Новиков И.Д.* // Астрон. журн. 1964. Т. 41. С. 1075.
17. *Новиков И.Д.* // Там же. 1966. Т. 43. С. 911.
18. *Рожанский И.Д.* Анаксагор. М.: Мысль, 1983. С. 29.
19. *Фок В.А.* Теория пространства, времени и тяготения. М.: Гостехтеоретиздат, 1955.
20. *Bauch T.S.* // J. Phys. A. 1981. Vol. 39. P. 14.
21. *Bondi H., Gold T.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1948. Vol. 108. P. 252.
22. *Frolov V.P., Markov M.A., Mukhanov B.F.* // Phys. Rev. D. 1990. Vol. 41. P. 383.
23. *Gilman R.C.* // Ibid. 1970. Vol. 2. P. 1400.
24. *Guth A.H.* // Ibid. 1981. Vol. 123. P. 347.
25. *Hawking S.W.* // Ibid. 1976. Vol. 14. P. 2460.
26. *Hoyl F.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1948. Vol. 109. P. 252.
27. *Hoyl F., Narlikar J.V.* // Proc. Roy. Soc. London. A. 1964. Vol. 282. P. 141.
28. *Isaacson R.A.* // Phys. Rev. A. 1968. Vol. 166. P. 1263.
29. *Jeans J.* Astronomy and cosmology. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1928.
30. *Klein O.* Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit. Braunschweig: Vieweg, 1961. S. 345.
31. *Kruskal M.D.* // Phys. Rev. 1960. Vol. 119. P. 1743.
32. *Linden-Bell D.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1967. Vol. 135. P. 413.
33. *MacGibbon J.H.* // Nature. 1987. Vol. 329. P. 308.
34. *Maltsev V.K., Markov M.A.* On integral formulation of Mach principle in conformally flat space. Dubna, 1976. (Prepr. / JINR; E-2977).
35. *Maltsev V.K., Markov M.A.* Quantum miniobjects in general relativity. Moscow, 1980. (Prepr. / INR; P-160).
36. *Markov M.A.* // Phys. Lett. A. 1933. Vol. 172. P. 331.
37. *Markov M.A.*, // Phys. Ztschr. Sowjetuninon. 1943. Bd. 7. S. 42.
38. *Markov M.A.* // Progr. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa.

39. *Markov M.A.* Cosmology and elementary particles. Trieste, 1970. (Pap. IC/71/33).

40. *Markov M.A.* // Proc. conf. on gravitational radiation and gravitational collapse. Warsaw, 1974. P. 106–131.

41. *Markov M.A.* // Ann. Phys. 1984. Vol. 155. P. 33.

42. *Markov M.A.* // Proc. conf. on group theoretical methods in physics. Yurmala, 1985.

43. *Markov M.A.* // Proc. Friedmann centenary conf., Leningrad, 1988. Singapure, 1988.

44. *Markov M.A.* // Phys. Lett. A. 1990. Vol. 151. P. 15.

45. *Markov M.A.* // Proc. of the First A.D. Sakharov conf. on physics. 1991.

46. *Markov M.A., Mukhanov V.F.* // Nuovo cim. B. 1985. Vol. 86. P. 97.

47. *Markov M.A., Zheleznykh I.M.* // Nucl. Instrum. and Meth. 1986. Vol. 248. P. 242.

48. *Misner C., Thorne K., Wheeler J.A.* Gravitation. San Francisco: Freeman, 1973.

49. *Mukhanov B.F., Brandenberger R.* // Phys. Rev. Lett. 1992. Vol. 68. P. 1169.

50. *Neeman Y.N.* // Astrophys. J. 1965. Vol. 141. P. 1303.

51. *Perry M.J., Teo E.* Nonsingularity of the exact two-dimensional string black hole. (Prepr. / DAMTP; R93/1).

52. *Priani E.A.* // Proc. Roy. Soc. London. A. 1955. Vol. 228. P. 455.

53. *Schwinger J.* // Phys. Rev. 1948. Vol. 74. P. 1439.

54. *Sciama D.W.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1954. Vol. 34. P. 113.

55. *Starobinsky A.A.* // Phys. Lett. B. 1980. Vol. 91. P. 99.

56. *Tomonaga S.* // Progr. Theor. Phys. 1946. Vol. 27. P. 1.

МОЖЕТ ЛИ АСИМПТОТИЧЕСКАЯ СВОБОДА ГРАВИТАЦИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НАРУШИТЬ ЭНЕРГОДОМИНАНТНОСТЬ КЛАССИЧЕСКОЙ КОСМОЛОГИИ?*

В статье "О возможном существовании в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий" в "Успехах физических наук" [3] отмечено, что в рамках модели изотропных вселенных коллапс вселенных останавливается на планковских длинах. Этот результат получен при пренебрежении анизотропными возмущениями, которые естественно возникнут в процессе коллапса, что вызвало у автора большую озабоченность. В результате дальнейших исследований выяснилось, что все предложенные автором модели изотропных вселенных не нарушают энергодоминантности классической космологии. Другими словами, прекращение коллапса происходит лишь в моделях вселенных, которые в действительности не реализуются. Но, пользуясь произволом в выборе функции, которая характеризует ослабление гравитационных взаимодействий с ростом плотности материи, можно предположить даже более простые функции, когда в процессе коллапса при больших плотностях материи нарушается энергодоминантность.

Поэтому данная статья, где дается ответ на поставленный в [3] вопрос, является естественным продолжением статьи [3].

---

* Успехи физ. наук. 1994. Т. 164, № 9. С. 979–981.

Здесь уместно вспомнить статью Пенроуза [7] большой давности (1965 г.), в которой высказаны четыре соображения, в рамках которых проблема сингулярности могла бы находить свое решение.

К сожалению, я познакомился со статьей Пенроуза недавно, уже после публикации моей статьи в "УФН".

Эти четыре возможности в статье Пенроуза обозначены буквами a, b, c, d:

a) Negative local energy occurs.

b) Einstein's equations are violated.

c) The space time manifold is incomplete.

d) The concept of space-time loses its meaning at very high curvatures – possibly because of quantum phenomena.

Все эти возможности имеют то или иное отношение к идее обсуждаемой асимптотической свободы гравитационных взаимодействий. Обсуждение асимптотической свободы начато статьей под названием "Предельная плотность материи как универсальный закон природы"[1] [1].

Для однородной изотропной пылевидной закрытой вселенной было написано уравнение, которое в дальнейших статьях приводилось в самом простом виде

$$\left(\frac{\dot{R}}{c}\right)^2 + 1 = \frac{8\pi R^2 \varkappa_0}{3c^2}\left[\rho\left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right) + \Lambda'\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^2\right], \qquad (1)$$

где ρ_0 – максимальная плотность материи, которая возникает в процессе коллапса вселенной;

$$\Lambda' = 2\rho_0, \quad \Lambda' \frac{8\pi\varkappa_0}{3c^2} = \Lambda$$

(Λ – член вселенной де Ситтера), $1-(\rho^2/\rho_0^2)$ представляет собой некоторую функцию $\psi(\rho)$, которая характеризует уменьшение силы гравитационных взаимодействий с ростом плотности массы вселенной в процессе коллапса.

С помощью этого уравнения иллюстрировалась остановка коллапса при выбранном значении

$$\rho_0 \cong \frac{c^5}{\hbar\varkappa^2} \sim 10^{94} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3} \qquad (2)$$

на расстоянии от классической сингулярности в области планковских длин при очень слабой зависимости от полной "голой" массы закрытой вселенной. Это уравнение не было получено варьированием какой-либо функции действия. Также ad hoc взята константа Λ-члена. В статье [6] сделана попытка изменить теорию гравитации Эйнштейна, введя в функцию действия S вместо гравитационной константы $\varkappa_0$ некую функцию

$$\varkappa = \varkappa_0 \psi(\varepsilon), \qquad (3)$$

где ε – плотность энергии. На ψ-функцию не было наложено каких-либо ограниче-

---

[1] Несколько позже такую идею высказал Розен [9].

ний, кроме падения ее значения с ростом плотности энергии в процессе коллапса вселенной. Неожиданно для нас при варьировании таким образом модифицированной функции действия возникли модифицированные уравнения Эйнштейна с добавочным членом де-ситтерообразного вида $\Lambda\delta^i_k$, где $\Lambda = -\varepsilon\, d\psi/d\varepsilon$. Уравнение получено для

$$T^i_k = (\varepsilon + p)u^i u_k - p\delta^i_k. \tag{4}$$

Для простого случая пылевидной вселенной с $\psi = 1 - (\rho^2/3\rho_0^2)$ получается уравнение, близкое к уравнению (1), а именно:

$$\left(\frac{\dot R}{c}\right)^2 + 1 = \frac{8\pi R^2 \varkappa_0}{c^2}\left[\rho\left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right) + \Lambda'\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^3\right], \tag{5}$$

где $\Lambda' = 2\rho_0/3$.

Уравнение (6) в области $\rho \ll \rho_0$ описывает вселенную Фридмана, которая в процессе коллапса превращается во вселенную де Ситтера. Другими словами, ранняя вселенная при $\rho \cong \rho_0$ содержит в своем расширении инфляционную де-ситтерообразную фазу, которая является объектом обсуждения в течение нескольких ближайших лет. Но представления о развитии Вселенной в таком виде могли бы возникнуть в теории еще во времена Фридмана (после 1922 г.), если бы тогда возникла идея непостоянной в нашем смысле $\varkappa_0$.

С написанием уравнения (5), где возникает Λ-член, встает вопрос, может ли в процессе коллапса измениться знак правой части уравнения (5) на обратный, что означало бы, что в процессе коллапса при больших плотностях притяжение заменяется отталкиванием, или, что то же, в правой части уравнения возникает отрицательная энергия (напомним Пенроуза).

а) Negative local energy occurs. Скобку в правой части уравнения (5) можно записать в виде

$$\left[1 - \frac{\rho^2}{3\rho_0^2}\right]. \tag{6}$$

Скобка, о которой идет речь, меняет свой знак лишь при $\rho^2 > 3\rho_0^2$, что запрещено предельным значением ρ_0. Это значит, что прекращение коллапса во вселенных, описываемых уравнением (5), обязано лишь пренебрежению анизотропными возмущениями, что асимптотическая свобода с данной ψ-функцией не нарушает энергодоминантности в процессе коллапса. То же самое относится и к уравнению (1), написанному ad hoc. Спрашивается, не позволяет ли произвол в выборе функции $\psi(\rho)$ указать такие функции $\psi(\rho)$, которые в процессе коллапса приводили бы в области больших плотностей к нарушению энергодоминантности? Легко видеть, что такие функции действительно существуют, например

$$\psi(\rho) = 1 - \frac{\alpha\rho}{\rho_0}, \tag{7}$$

где $\alpha > 1$. Для модифицированного уравнения Эйнштейна скобка в его правой части возникает в виде

$$\left[\rho\left(1-\frac{2\alpha\rho}{\rho_0}\right)+\alpha\left(\frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right)\rho_0\right]=\left[\rho\left(1-\frac{\alpha\rho}{\rho_0}\right)\right]. \quad (8)$$

В процессе коллапса при ρ, меньших ρ_0, но больших ρ_0/α, скобка (8) принимает отрицательное значение. Она остается отрицательной и при $\rho = \rho_0$, если $\alpha > 1$. В данном случае мы не можем назвать численное значение α, необходимое, например, для того, чтобы отталкиванием "погасить" казнеровские возмущения. На этот вопрос могут ответить прямые вычисления. В последовательной будущей теории гравитации, если она действительно будет содержать в нашем понимании

1) асимптотическую свободу,

2) закон предельной плотности,

она должна содержать и конкретный вид функции ψ.

Было бы чудом, если бы эта функция совпала с написанной ad hoc функцией (7), хотя существует утверждение, что природа любит простоту. Более простую функцию ψ, чем (7), вряд ли можно придумать. Очень вероятно, что нарушение энергодоминантности можно получить и модифицируя левую часть уравнения Эйнштейна, что, видимо, имеет в виду Пенроуз, помечая эту возможность буквой b. Есть основания полагать, что в этом случае некоторыми преобразованиями эту форму нарушения уравнений Эйнштейна можно свести к той форме нарушения уравнений Эйнштейна, в которой модифицируется правая часть уравнения Эйнштейна. Эта возможность обсуждается в [2], а очень кратко – в [3].

До сих пор космологическая проблема обсуждалась нами в рамках классической (не квантовой) теории. Если речь идет о коллапсе вселенной, которая после остановки коллапса на каком-то расстоянии $l_{\min}$ от классической сингулярности начинает снова расширяться, то расстояния l, меньшие $l_{\min}$, у нас не вызывают каких-либо забот.

Но сложнее дело обстоит с коллапсом черных дыр. В этом случае материя, ушедшая под сферу Шварцшильда, может двигаться только по направлению к сингулярности. Но если имеется закон предельной плотности, связанные с ней конечные значения всех кривизн, то спрашивается, как развиваются дальше события в черной дыре? На этот вопрос дан ответ в [4, 5], согласно которому черная дыра оказывается источником новых вселенных, которые появляются в своем пространстве в абсолютно будущем времени по отношению ко временам, где возникла черная дыра. Но, согласно предыдущему тексту статьи, новые вселенные в своем пространстве должны возникать на расстоянии $l_{\min}$ от классической сингулярности. Спрашивается, что собой представляет пространство в окружности с радиусом $l_{\min}$ вокруг классической сингулярной точки? Можно полагать, что на этот вопрос отвечает статья [8], посвященная двумерной черной дыре, лишенной сингулярности в рамках теории струн, согласно которой вблизи классической сингулярности возникает область не лоренцовой метрики, а евклидовой. Здесь возможна своя физика – физика ультрамикромира, о которой шла речь в [3]. Последние замечания, в сущности, делают актуальными утверждения Пенроуза, обозначенные буквами с и

d. В абстракте к статье [3] выражена надежда на теорию струн. Конкретнее можно добавить: нельзя ли рассматривать введение дилатонного поля, которое играет существенную роль в теории струн, как попытку заменить гравитационную постоянную некоторой функцией этого поля?

ЛИТЕРАТУРА

1. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 6. С. 214.
2. *Марков М.А.* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993.
3. *Марков М.А.* // Успехи физ. наук. 1994. Т. 164. С. 63.
4. *Frolov V.P., Markov M.A., Mukhanov V.F.* // Phys. Rev. D. 1990. Vol. 41. P. 38.
5. *Markov M.A.* // Proc. of the Friedmann Conf. Leningrad, 1988. Singapore, 1988.
6. *Markov M.A., Mukhanov V.F.* Nuovo cim. B. 1985. Vol. 86. P. 97.
7. *Penrose R.* // Phys. Rev. Lett. 1965. Vol. 14. P. 57.
8. *Perry M.J., Teo E.* Nonsingularity of the exact two-dimensional string black hole. Cambridge, 1993. (Prepr. / DAMTP; R93/I).
9. *Rosen N.* // Astrophys. J. 1985. Vol. 297. P. 347.

II

ПУБЛИЦИСТИЧЕСКИЕ СТАТЬИ

БУДУЩЕЕ НАУКИ
(ускорители элементарных частиц следующих поколений)*

Речь идет в основном о будущем физики высоких энергий. Близкое и отдаленное будущее физики высоких энергий широко обсуждалось на протяжении последнего десятилетия. Особенно интенсивно шли обсуждения, когда проектировалось строительство ускорителя в Батавии.

Итоги этого обсуждения приведены в сборнике "Природа материи. Цели физики высоких энергий". Материалы сборника перепечатаны в журнале "Успехи физических наук" [4] с добавлением ряда статей советских авторов.

Но теперь, когда строительство ускорителя в Батавии успешно завершается и начинается его эксплуатация, естественно и своевременно возникает проблема следующего поколения ускорителей на более высокие энергии. Естественно – с точки зрения прогнозирования тенденции в развитии науки вообще и своевременно – по характеру объекта прогнозирования в частности. Действительно, в предисловии к одному из документов, относящихся к проектированию европейского ускорителя на 300 ГэВ в ЦЕРНе[1], Б. Грегори (в то время директор ЦЕРНа) писал: "Я должен указать на одно различие между физикой высоких энергий и многими областями наук. Неизбежно большие размеры установки вынуждают нас вести планирование лет на пятнадцать вперед" [4].

Таким образом, речь будет идти о следующем поколении ускорителей и, в сущности, для следующего поколения физиков.

В настоящее время будущее физики высоких энергий и строительство ускорителей элементарных частиц нельзя рассматривать вне связи с будущим физики и даже шире – науки вообще. За два истекших десятилетия больших успехов достигли различные разделы физики, астрофизики, биологии и других наук. И будущее, часто большое перспективное будущее этих разделов науки привлекает внимание научной общественности и вызывает известную заботу и опасения за перспективы их материального обеспечения.

В последние годы появился ряд статей о будущем науки, в которых так или иначе затрагивается и будущее физики высоких энергий. Под таким названием в 1971 г. появляется известная статья Ф. Дайсона [8]. В том же 1971 г. печатается в "Успехах физических наук" интересная по обширному фактическому содержанию и постановкам вопросов статья В.Л. Гинзбурга [3], а в 1972 г. в журнале "Природа" появляется статья Л.А. Арцимовича [1], где акцентируется преимущественное раз-

---

* Успехи физ. наук. 1973. Вып. 4, № 719. С. 162–198.

[1] ЦЕРН – Европейский центр ядерных исследований в Швейцарии (по начальным буквам названия на фр. яз. – Centre Européenne pour la Recherche Nucléaire).

витие астрофизики. Обращают на себя внимание статьи Коэла [7] и Андерсона [6], помещенные в журнале "New Scientists" в сентябре 1971 г. Первая из них – это панегирик заканчивающемуся строительству синхротрона на 500 ГэВ в Батавии и предстоящей программе научных исследований, а другая относится к статье предыдущей, как (пусть простят мне это сравнение) античастица относится к частице. Здесь знаки многих утверждений предыдущей статьи меняются на обратные.

Во всех этих статьях делается попытка разобраться в том, какие изменения произошли в физике, в естественных науках вообще за последние годы, какое место занимает в настоящее время физика высоких энергий и что можно сказать о перспективах науки ближайших десятилетий.

Бурное развитие атомной и ядерной физики последних десятилетий сопровождалось фундаментальными открытиями.

Огромное влияние этих открытий на экономику, политику и межгосударственные отношения привело к своеобразной элитарности ядерной физики и физики элементарных частиц. Представители других научных областей – физики твердого тела, химии, биологии и т.д., пораженные успехами этой научной области и значением этих успехов не только в науке, но и в социальной жизни планеты, безропотно признавали эту элитарность.

Со временем существенные успехи пришли и в другие области науки. Меняется научное общественное мнение об иерархии различных научных направлений. Ситуация имеет и чисто прозаическую сторону. Исследования в физике высоких энергий становятся очень дорогими, дорогими оказываются строящиеся ускорители.

Еще более дорогими окажутся ускорители будущих поколений. И в связи с этим обсуждаются ценности получаемых на ускорителях результатов. Иногда между строк можно усмотреть вопрос: "А стоит ли игра свеч?"

Не хотелось бы идти по пути общих рассуждений – нужны ли, не нужны ли ускорители на сверхвысокие энергии вообще ("на все времена и народы"). Хотелось бы ограничиться частным конкретным обсуждением вопроса – нужны ли ускорители следующей генерации, именно после тех ускорителей, которые только вступили или вступают в эксплуатацию. Здесь имеются в виду как ускоритель традиционного типа в Батавии, так и протонный ускоритель на встречных пучках в ЦЕРНе.

Хотелось бы провести обсуждение, учитывая как оптимистические, так и пессимистические соображения цитированных выше статей, провести это обсуждение, имея в виду и развитие науки вообще, с учетом того, как оно прогнозируется, в частности, в этих статьях, "отжав" из них все, что не относится к нашей проблеме непосредственно, но иногда создает "фон", ненужно усложняющий задачу.

Начнем со статьи Ф. Дайсона "Будущее науки", которая во многих отношениях любопытна. Статья начинается с воспоминаний о ситуации в Кавендишской лаборатории, возникшей после смерти Эрнеста Резерфорда.

«К ужасу всех тех, кто еще остался в Кембридже, Брэгг (новый директор лаборатории) не предпринимал ни малейших усилий, чтобы восстановить былую славу Кембриджа... он не очень интересовался постройкой новых

ускорителей... и любил повторять: "Мы здорово обучили мир, как надо заниматься ядерной физикой. Давайте теперь покажем, как нужно заниматься чем-то новеньким"».

И это "новенькое", как известно, действительно возникло в виде научных направлений в радиоастрономии и молекулярной биологии, развитие которых сопровождалось действительно фундаментальными открытиями. Анализируя причины успеха Брэгга, руководителя Кавендишской лаборатории, Дайсон формулирует "три правила запрета", которые, по его мнению, помогли Брэггу в этой ситуации, сложившейся в Кембридже в конце 30-х годов. "Я убежден, – пишет Дайсон, – что из этой истории для нас вытекают сегодня (т.е. ... для обсуждения физики будущего) весьма важные выводы".

Прежде всего хотелось бы понять, могут ли эти выводы, эти правила действительно пригодиться в нашей ситуации.

Эти правила звучат почти как религиозные заповеди, носят характер категорического императива[2]:

"Не следует пытаться возродить былую славу" – ведь это вопрос конкретной обстановки, конкретных условий и возможностей. Может быть, не следует, а может быть, иногда следует... Может быть, не так уж неправы те, которые упрекали Брэгга в отсутствии желания "возродить былую славу Кембриджа"... продолжать исследования в области ядерной физики. Это не значит, что не надо было развивать новые направления – радиоастрономию, молекулярную биологию. Но может быть, это надо было (или лучше было бы) делать где-то в другом месте – не в ущерб ядерной физике...

Хорошо, что в Беркли возник такой центр исследований, который в известном смысле принял эстафету кембриджских исследований структуры материи и элементарных частиц.

"Не следует пытаться возродить былую славу" – это отнюдь не заповедь, это лишь одно из альтернативных предложений при обсуждении судьбы того или иного научного института.

Каждый научный институт имеет свой юный, зрелый возраст и возраст преклонный.

15–20 лет обычно отпускает время на цикл развития института. А затем институт либо возрождается, либо погружается в небытие, либо возникает в совершенно ином виде. Нет, это правило нам не поможет. Но правило это цитируется в литературе, создавая тот излишний "фон шумов", от которого желательно освободиться.

И вопрос о "моде" совсем не так прост.

Каждая конкретная мода вначале возникает как, так сказать, "антимода", новая мода в противовес существующим. Как правило, научной модой становится то направление, которое кажется чем-то обещающим. К кому же обращена эта вторая заповедь?

---

[2] Эти правила: а) не следует пытаться возродить былую славу; б) не следует заниматься чем-то только потому, что оно самое модное; в) не следует обращать внимания на насмешки и высокомерие теоретиков.

Мода, как правило, привлекает людей, в массе своей не всегда очень творческих, т.е. людей, которые сами, как правило, не создают моду. Но люди эти – часто очень энергичные и результативные в своих практических действиях, а в теории обладают нередко большими формальными способностями, что дает им возможность быстро и эффективно "в рамках моды" получать результаты, испытав моду "на прочность", и, может быть, таким образом исчерпать, а возможно, и закрыть моду.

В научном мире такая разновидность исследователей есть, она нужна, она неизбежна в экологии, если можно так сказать, научного творчества, как нужно разнообразие живых организмов в экологическом равновесии сущего на Земле.

"Не следует обращать внимания на насмешки и высокомерие теоретиков".

Почему только теоретиков?

Напомним известную цитату: "Всякий, кто ожидает получения энергии от трансформации атомов, говорит вздор". Это ведь из речи Э. Резерфорда на съезде Британской ассоциации содействия развитию науки 11 сентября 1933 г.

Обсуждаемый вопрос относится опять к той же, если можно так выразиться, экологии научного творчества. Многие, не только теоретики, способны вылить ушат холодной воды на горячие головы энтузиастов.

Очень часто это люди очень квалифицированные, с большой эрудицией и кругозором. Они в первую очередь умеют видеть трудности, которые в силу привычного, по-своему логического мышления кажутся непреодолимыми.

Кажется, Форд где-то писал, что если бы он хотел сделать неприятность своим конкурентам, он посоветовал бы им набрать большое число высококвалифицированных инженеров, каждому из которых с самого начала была бы ясна невозможность любого нового предложения. Если бы такого высказывания у Форда не было, то его следовало бы выдумать. Но, с другой стороны, критицизм необходим в экологии науки. Волки, как известно, приносят большую пользу, уничтожая слабых животных. Конечно, иногда в беду попадают сильные, здоровые. Это трагедия отдельного индивидуума.

Экологическое равновесие мудро устанавливается само собой не только во флоре и фауне.

Поэтому если совет Дайсона относится к новаторам науки, сильным духом и мыслью, он им не нужен. Если он обращается к огромному большинству "изобретателей" (в кавычках), он не идет на пользу науке. Но, отбросив в сторону эти не прямо относящиеся к делу страницы статьи Дайсона, мы встречаемся в ней с двумя высказываниями, которые следует вставить в список конкретных вопросов, подлежащих дальнейшему обсуждению.

Во-первых, представляет интерес оценка Дайсоном предстоящей экспериментальной ситуации на ускорителе в Батавии. Оценка эта очень богата различными ("по знаку") оттенками. Дайсон пишет: "Грубо говоря, весь эффект от грандиозных денежных затрат и немалых человеческих усилий в Батавии сводится к тому, чтобы подвинуть область энергий, доступных физике, вверх на одну ступень десятки от десятков ГэВ, которыми мы обладали в 1970 г.

Мы все искренне надеемся, что Природа предложит нам новые очень важные явления, которые мы сможем обнаружить, продвинувшись именно на эту ступень

десятки. Если выяснится, что Природа именно так поступила, те усилия, которые были затрачены на строительство ускорителя, окажутся вполне оправданными. Если же окажется, что именно в этом новом доступном интервале энергии нет никаких фундаментально новых явлений, построенная машина окажется просто монументальной безделушкой".

Отношение Дайсона к созданию рекордного по энергии ускорителя в Батавии грамматически выражается условными предложениями: "если".

В строго логическом построении грамматических фраз нельзя отказать автору.

Но строительный материал для этих фраз взят столь скупо, что он не только не характеризует обсуждаемую ситуацию, а существенно ее деформирует. Конечно, верно и то, что другие ускорители, как, например, бэватрон в Беркли, строились в свое время более целенаправленно; бэватрон, в частности, строился прямо для подтверждения (или опровержения) существования антипротонов. И выполнение этой задачи a priori оправдывало строительство бэватрона, а открывателям эффекта рождения протон-антипротонных пар была присуждена Нобелевская премия.

Предельная же энергия машины в Батавии не определялась какой-либо одной подобного рода фундаментальной задачей. Но была сформулирована обширная программа, которая направлена к заполнению "белых пятен" в картине физических явлений в этой области энергий.

В физических исследованиях должен был быть пройден этот интервал энергии – это такая же историческая необходимость в развитии науки, как в былое время исследование "белых пятен" на географической карте Земли – путь этот должен иметь и имеет своих энтузиастов, героев, а может быть, и мучеников...

Дайсоном полностью игнорируется обширная и существенная по тематике программа исследований, разработанная большим коллективом физиков. Кстати говоря, эта программа со временем постепенно расширяется, становится все более интересной и значительной. Здесь имеется в виду, в частности, ситуация с множественным рождением частиц, с масштабной инвариантностью, в общем – круг вопросов, возникший в то время, когда строительство ускорителя близилось к завершению, круг вопросов, которые не входили в число аргументов, обосновавших необходимость строительства ускорителя.

Далее Дайсоном сделано противопоставление возможностей экспериментов в космических лучах экспериментам на ускорителях.

Основа основ всего написанного в статье Андерсона заключена в следующей фразе: «Ученые начали понимать, что "пирог конечен", и все, что "pro" физике высоких энергий, – это "con" к чему-то другому...» Любое обсуждение предмета должно исходить из того факта, что физика высоких энергий страшно "дорога". В том, что физика высоких энергий дорога, нет сомнений. Более того, любая науки дорожает, и это обстоятельство мы обсудим в списке вопросов отдельным вопросом: "удорожание науки". Но прежде хотелось бы из статьи Андерсона "отжать" положения, которые, как и в статье Дайсона, образуют "фоновый туман" вокруг реальных проблем, подлежащих обсуждению.

Сюда следует отнести рассуждения автора о стратегии науки. Он стремится убедить читателя, что не накопление новых фактов, а новые концепции, новые точки зрения совершают революционные изменения в науке. Видимо, автор, исходя

из чисто философских концепций, хотел бы рекомендовать физике высоких энергий не накапливать новые факты (к тому же это дорого), а больше концептуально мыслить...

Совсем не надо доказывать и убеждать, что революционное изменение в науке связано обычно с новыми точками зрения. Но может автор указать тот момент, когда фактов становится достаточно для появления новых концепций, новых точек зрения?

Другое конкретное утверждение автора о том, что темп возникновения новых открытий в физике высоких энергий с ростом энергий входящих в эксплуатацию ускорителей радикально замедляется. Автор употребляет даже термин "кризис ситуации" в физике высоких энергий. Это утверждение уже требует обсуждения. Итак, о "кризисе ситуации" в физике высоких энергий, или "законе убывающего плодородия", что ли, ускорителей на высокие энергии.

В конце концов совет Андерсона – это замедлить не только экспериментальные, но и теоретические исследования в области физики высоких энергий.

Особенно странно звучат советы Андерсона замедлить теоретические исследования. Чтобы не исказить его мысль, не придать ей еще более неприглядный оттенок, лучше привести этот совет на языке, на котором он звучит в устах автора: "I do not advocate abondoning highenergy, theory, just slowing it down in favor a brodder attach on the gennine problems we already have".

Другими словами, проблемы физики высоких энергий не являются "gennine problems", т.е. не являются "подлинными", "истинными" проблемами. Комментарии здесь только способны ослабить впечатление от высказанной автором мысли. Мы еще вернемся к этому оригинальному совету. Андерсон ищет обоснование своим рекомендациям, в частности, в обсуждаемом им положении об отсутствии иерархичности в науке, в его тезисе об автономности наук ("the sciences are autonomus"). Развивая этот тезис, Андерсон полемизирует с высказываниями В. Вайскопфа о фундаментальном характере ("интенсивном" в терминологии Вайскопфа) субъядерной физики. В дальнейшем, видимо, целесообразно подробнее остановиться на тезисе Андерсона об автономности наук в свете той своеобразной роли, которую играет физика высоких энергий в семействе наук своим прямым и косвенным влиянием. Далее следует пополнить список дискутируемых вопросов теми вопросами, которые возникают при чтении статьи В.Л. Гинзбурга.

В дальнейшем, следуя В.Л. Гинзбургу, мы будем говорить о микрофизике как области, включающей в себя проблемы физики высоких энергий и даже несколько шире – проблемы "субъядерной" физики.

Микрофизика для своих исследований использует не только технику высоких энергий. В физике и микрофизике есть два направления развития, которые дополняют друг друга, – это физика высоких энергий, с одной стороны, и физика пучков частиц относительно низких энергий, но высоких интенсивностей – с другой. Эти направления исследований в некоторой области конкурируют между собой. Так, специфические особенности эффектов, которые характерны для области высоких энергий, при низких энергиях слабо проявляются. Но слабые проявления этих эффектов (малые сечения) могут быть, однако, детектированы в пучках частиц очень высокой интенсивности.

В физике высоких интенсивностей проявляются и свои специфические закономерности явлений. По предельным энергиям индивидуальных частиц физика высоких интенсивностей может на много порядков отставать от физики высоких энергий. Типичными представителями физики высоких интенсивностей являются физика лазерных пучков, физика высокоинтенсивных электронных ускорителей в мэвных диапазонах энергий и так называемые мезонные фабрики.

Любопытные примеры физики высоких интенсивностей представляют собой лазерные пучки фотонов. Лазерные лучи возникли не в ускорительной технике и не в физике высоких энергий, возникли не для нужд ядерной физики и физики элементарных частиц. Но повышение интенсивности в лазерном луче расширяет применение лазерного луча до проблем управляемых термоядерных реакций и даже физики элементарных частиц.

При больших интенсивностях лазерный луч и луч ускоренных электронов, например, во многих отношениях аналогичны. Эти столь различные по природе лучи оказываются способными конкурировать друг с другом в возможностях различных применений[3]. Конкуренция возможна, в частности, и в применении к проблемам управляемых термоядерных реакций. Как мощный лазерный луч, так и сфокусированный поток, например, электронов могут служить источниками вторичных пучков высокой интенсивности, например, нейтронов, источниками заряженных частиц высоких энергий – здесь имеется в виду, с одной стороны, рождение пар частиц и античастиц в интенсивных лазерных лучах и ускорение, например, протонов потоками электронов, в частности в установках типа "смокотрон", с другой стороны. В отличие от физики высоких энергий лазерные лучи, сильноточные электронные ускорители, протонные ускорители – мезонные фабрики имеют почти беспредельные возможности для практического применения в технике, в медицине, в народном хозяйстве.

Поэтому целесообразно, чтобы в физике высоких интенсивностей существенную часть финансирования брали бы на себя различные министерства. Физика высоких энергий также возвращает с большими процентами народному хозяйству потраченные на нее деньги, но не всегда (как мы увидим ниже) непосредственным образом и, как правило, не быстро. Физика высоких энергий нуждается в долговременном "займе", но под большие "проценты".

Одна из закономерностей здесь такова, что ускорительные установки, построенные для исследований в области ядерной физики и элементарных частиц, начинают со временем использоваться все больше и больше для нужд смежных наук (физики твердого тела, химии, биологии, геологии, экологии и др.) и в меньшей степени для нужд самой физики элементарных частиц. А для нужд физики элементарных частиц строится очередной ускоритель на большую энергию. Есть известие, например, что один из самых больших в мире циклических электронных ускорителей (CEA, США) целиком переводится на использование его синхротрон-

[3] При очень интенсивных потоках любых частиц (фотонов, нейтронов, электронов, протонов и т.д.) общим для них является способность передавать малому объему вещества (в пределе пары или даже одной частицы) огромные порции энергии.

ного излучения в различных приложениях. Как известно, на DESY (ФРГ) также широко используются каналы синхротронного излучения.

Последние замечания вносят существенную поправку в тезис Андерсона «...все, что "pro" физике высоких энергий, – это "con" к чему-то другому».

В статье Гинзбурга сделана попытка ответить на вопрос: "Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными?" Автор приводит около двадцати проблем из различных областей физики, которые действительно представляют значительный интерес. Но особое внимание привлекает тот раздел статьи, который озаглавлен "О микрофизике вчера, сегодня и завтра". Автор статьи многократно извиняется за неизбежную субъективность высказываний, делает массу оговорок, смягчая формулировки, боясь прослыть "врагом" микрофизики. Автор всячески подчеркивает авангардную роль микрофизики в науке. Автор желает ей всяческих успехов, в частности в строительстве новых ускорителей.

Но для целей нашего обсуждения целесообразно отбросить полутона, чтобы контуры вопросов, поставленных статьей Гинзбурга, проступили яснее, хотя мы таким образом выходим за рамки цитируемой статьи. Дело в том, что вопросы эти действительно существуют, они фигурируют "на улице" общественного мнения. Почему, действительно, не принято говорить о них открыто в "нашем доме" – на страницах физических журналов? «"Сегодня" по сравнению с "вчера", согласно защищаемому здесь мнению, – пишет автор, – место микрофизики и в физике, и во всем естествознании радикально изменилось».

Эти изменения автор видит и в снижении удельного веса проблем микрофизики в физических журналах, и в снижении интереса к микрофизике со стороны нового поколения, идущего в науку. Причину этих изменений автор находит в том, что до середины нашего века вопросы микрофизики "имели определяющее значение для развития всего естествознания". Объекты, изучаемые микрофизикой (атом, атомное ядро), "были хлебом насущным". Разгадать строение атома, понять действующие в нем законы (для этого пришлось открыть квантовую механику!) значило дать мощный толчок многим областям физики, астрономии, химии, биологии. Примерно то же самое можно сказать об атомном ядре – его изучение породило возможность использования ядерной (атомной) энергии и даже дало известные основания называть XX век "атомным веком".

Это было вчера. Но что же сегодня? Сегодня изменился объект микрофизики: "Исследуемые микрофизикой частицы либо живут ничтожные доли секунды, либо, как в случае нейтрино, почти свободно пронизывают земной шар и улавливаются лишь с колоссальным трудом". В общем новые объекты микрофизики – это "экзотические и редкие растения".

Изменился объект микрофизики, изменилось значение объекта микрофизики для других наук, изменилось, так сказать, и "социальное" положение микрофизики, и ее авторитет у молодого поколения. Итак, среди вопросов, поставленных статьей Гинзбурга, целесообразно обсудить вопрос и в такой формулировке: "Экзотичность объекта микрофизики и значимость ее сегодня для других наук". А завтра? А завтра – «предположение (которое я не боюсь высказать), что самый блистательный период в жизни микрофизики уже позади. Не все ведь обязаны верить в

существование "бесконечной матрешки" – открыли одну куклу, а в ней другая – и так без конца».

Таким образом, и в нашем списке возникает новый вопрос: действительно есть основание полагать, что самый блистательный период[4] в жизни микрофизики уже позади и что раскрыта последняя "матрешка"?

Правда:

"Характер задач, стоящих перед микрофизикой, сегодня ни в коей мере не уступает по своей жгучей таинственности и трудности проблемам ее вчерашнего дня. Иными словами, микрофизика осталась... аванпостом физики, ее самой передовой и глубокой частью". Жаль, что в статье остался неразвитым последний тезис. Одна из основных задач дальнейшего обсуждения – раскрыть, насколько возможно, в полной мере содержание этого тезиса. Именно: почему и в каком смысле можно считать, что микрофизика осталась "аванпостом физики, ее самой передовой и глубокой частью".

Теперь после несколько затянувшегося введения настало время обратиться к рассмотрению ситуации в микрофизике непосредственно.

ВЧЕРА, СЕГОДНЯ И ЗАВТРА МИКРОФИЗИКИ

Очень поучительно рассмотреть исторический процесс развития физики, нарисованный очень крупными мазками, – картину исторического процесса, так сказать, "с высоты птичьего полета". При таком рассмотрении выступает отчетливо любопытная черта этого процесса – своеобразная иерархия закономерностей, господствующих в мире физических явлений при продвижении физических исследований ко все меньшим и меньшим пространственно-временны́м областям, в которых разыгрываются исследуемые процессы. В этом историческом процессе перед физиками каждый раз раскрывались новые миры физических явлений со своими специфическими закономерностями, когда физики переходили к изучению явлений в областях, по своим размерам на 2–3 порядка меньших.

Иерархия длин – иерархия закономерностей

В физике существует исторически оправданная тенденция исследовать явления в областях все меньших и меньших размеров. На различных рубежах длин в изученном пока интервале от 10^{-5} до 10^{-15} см открывались неизвестные до тех пор новые миры физических явлений.

Так, в области размерами 10^{-5}–10^{-7} см был открыт мир молекулярной физики, возникла кинетическая теория материи. В областях размерами на порядок–два меньшими – 10^{-8} см $\hbar^2 m_e c^2$ – открылся мир атомных явлений и возникла квантовая теория. Исследования в областях 10^{-11} см $(\hbar / m_e c)$ привели к новому, неожиданному

[4] Говоря о блистательном периоде в жизни микрофизики, Гинзбург, видимо, имеет в виду главным образом ее приложения, атомную энергетику, ее социальную значимость. Здесь мы должны извиниться за некоторую "неточность" в изложенной точке зрения автора. Но с подобными высказываниями приходится встречаться и обсуждать их целесообразно.

Иерархия длин – иерархия закономерностей

l, см	Мир физических явлений	Энергия ускоренных частиц
10^{-6}–10^{-7}	Мир молекулярной физики	1 эВ
10^{-8}	Мир атомных явлений Атомные спектры	10 ГэВ
10^{-11}	Открытие рождения ^{+}e–^{-}e пар – квантовая теория Дирака	1–10 МэВ
10^{-13}	Физика атомного ядра	100–1000 МэВ
10^{-14}–10^{-15}	Мир странных частиц	10–100 ГэВ
10^{-17}	Раскрытие природы слабых взаимодействий?	10 000 ГэВ в лаб. системе (300 ГэВ в системе ц. и.)
. . . . . .	. . . . . .	. . . . . .
10^{-33}	Структура микропространства? Нелокальность полей?	10^{19} ГэВ в системе ц. и.

кругу явлений, связанных с возможностью рождения электрон-позитронных пар, возник круг явлений, описываемый релятивистской квантовой теорией Дирака. В областях 10^{-13} см открылся мир физики атомного ядра, в областях 10^{-14} см открылась физика адронов, физика странных частиц, мир возбужденных состояний адронов.

В настоящее время физические исследования продвигаются в области длин, меньших, чем 10^{-15} см. Эта иерархия длин и открывающихся на этих длинах миров физических явлений ясна из прилагаемой таблицы.

Как видно из таблицы, историческая закономерность пока действительно такова, что проникновение в области физических явлений, на два-три порядка меньшие по своим размерам, вело к открытию нового мира физических явлений. Пока строение материи, образно говоря, действительно иллюстрируется известной игрушкой – "матрешкой". Можно, конечно, задавать вопрос, сколько вложений содержит реальная "игрушка" – материя. Или этот процесс раскрытия "матрешки" бесконечен?

Конечно, в такой общей форме вопрос остается без ответа[5]. Но вполне уместно спрашивать, действительно ли можно утверждать, что физикой уже раскрыта последняя "матрешка". Или, конкретнее, можно ли ожидать существенно новой физики, когда в распоряжении физики окажутся длины (параметры удара) еще порядка на два меньше.

Другими словами, что ожидает физиков на длинах порядка 10^{-17} см? Энергетически это значит, что речь идет об ускорителях с энергией ~300 ГэВ в системе центра инерции.

Если анализировать таблицу последовательности длин и закономерностей, то следовало бы сказать, что наиболее важными и интересными результатами ока-

---

[5] Более детальное обсуждение проблемы содержится в статье "О понятии первоматерии" (см. т. I настоящего издания, с. 438–452. – *Примеч. сост.*).

зываются неожиданные и непредсказанные результаты на этих новых этапах физических исследований.

Действительность, как правило, оказывается фантастичнее любой необузданной фантазии.

В этом стремлении к физике меньших длин – к физике более высоких энергий – нельзя недооценивать и большую манящую силу пока исторически оправдавшихся надежд на встречу с чем-то совсем новым. Однако мы не будем акцентировать этот, может быть, чисто психологический фактор, хотя от него отвлечься тоже невозможно. Но в данном случае на рубеже предстоящих длин, именно длин порядка 10^{-17} см, можно уверенно говорить о большом ожидаемом прогрессе в наших знаниях. Дело в том, что именно этот рубеж длин как рубеж, имеющий фундаментальное значение, уже органически содержится в современной теории слабых взаимодействий. Размерная константа, определяющая слабые взаимодействия, характеризуется квадратом длины (l^2), где l как раз близка к 10^{-17} см.

Во всяком случае, мы можем с уверенностью сказать, что на этих длинах получим ответ на один из наиболее интригующих вопросов современной физики, именно какова природа слабых взаимодействий?

В чем же заключается не раскрытая пока тайна слабых взаимодействий?

Как известно, сечения слабых взаимодействий растут с энергией взаимодействующих частиц.

Константа слабых взаимодействий мала, поэтому в слабых взаимодействиях используется аппарат теории возмущений – разложение по слабому параметру взаимодействий. Так как сечения растут с энергией взаимодействующих частиц, оказывается, что при больших энергиях, несмотря на малость константы взаимодействия, следующие, высшие приближения теории становятся сравнимыми с низшими приближениями или даже становятся больше приближений низших. Другого же аппарата (не теории возмущений) в нашем распоряжении пока нет. Попытки построить более совершенный формализм для вычислений сечений слабых взаимодействий встречаются с фундаментальной трудностью теории слабых взаимодействий, связанной с наличием расходящихся величин, которые не удается устранить способами (т.е. перенормировками), оказавшимися эффективными в электродинамике.

В общем мы не знаем, как ведут себя слабые взаимодействия при параметрах столкновений, близких к длине, характеризующей слабые взаимодействия, той длине 10^{-17} см, о которой шла речь выше, или при энергиях, близких к 300 ГэВ в системе центра тяжести. Другими словами, у нас есть реальная фундаментальная задача для ускорителя с энергией 300 ГэВ в системе центра инерции. Такой ускоритель (300 ГэВ ц. и.) мы в дальнейшем будем называть кратко – ускоритель унитарного предела[6]. Есть основания полагать, что эта проблема может быть связана с другой проблемой слабых взаимодействий. Со времен Ферми (1934 г.)

[6] В теории возмущений предполагается, что по причине слабости взаимодействия начальное состояние системы не меняется, другими словами, унитарность учитывается с точностью до следующего приближения. Унитарность предельно максимально нарушается, если следующее приближение оказывается равным предыдущему или больше него.

теория слабых взаимодействий формулируется как взаимодействие четырехчастичное: при β-распаде нейтрон распадается на протон, электрон и антинейтрино. Все другие известные в природе взаимодействия – это взаимодействия исключительно трехчастичные. Так, нейтрон, испуская π-мезон, превращается сильными взаимодействиями в протон и т.д.

Около 30 лет существует тенденция свести четырехчастичные слабые взаимодействия к трехчастичному. Этого можно достичь, предполагая, что наблюдаемое слабое взаимодействие на самом деле осуществляется в два этапа. Вначале нейтрон переходит в протон, испуская некоторую гипотетическую частицу – W-мезон (трехчастичное взаимодействие), а этот так называемый промежуточный W-мезон распадается затем на электрон и антинейтрино (второе трехчастичное взаимодействие).

Идея унификации типов взаимодействий настолько привлекательна, что на всех ускорителях, во всех новых диапазонах энергии снова и снова ставятся эксперименты по поиску промежуточного W-мезона. В настоящее время на действующих ускорителях W-мезон пока не обнаружен. Нижний предел массы промежуточного W-мезона пока лежит в области 2–5 ГэВ.

Энергия 300 ГэВ в системе центра тяжести (ускоритель унитарного предела) – это та предельная энергия, для которой имеет смысл идея промежуточного мезона и его экспериментальные поиски. И в этом смысле на ускорителе унитарного предела теория слабых взаимодействий подвергается решающему испытанию. На следующих страницах мы расширим обсуждение различных аспектов предстоящего этапа микрофизики в эпоху появления экспериментальных возможностей ускорителя унитарного предела.

Есть ли основания полагать, что "самый блистательный период в жизни микрофизики позади"?

Каскад поразительных открытий новых закономерностей микромира 20–30-х годов, многообразие элементарных частиц и их свойств в последующих десятилетиях – все это в каком-то смысле "развратило" наше восприятие и оценку быстроты научного прогресса. Стало несколько нетерпеливым ожидание новых научных открытий. Появились упреки, даже известное недовольство темпами новых открытий. Делается попытка установить чуть ли не "закон природы", согласно которому с вводом ускорителей на более высокие энергии "темпы новых открытий в этих новых энергетических областях радикально замедляются..." [6].

Дело в том, что иерархия длин, о которой речь шла выше, и соответствующие им энергии должны исчисляться в системе центра инерции. Энергия в системе центра инерции ($E_{\text{с.ц.и}}$) связана с энергией в лабораторной системе ($E_{\text{лаб}}$) квадратичной зависимостью

$$E_{\text{лаб}} = \frac{E^2_{\text{с.ц.и}}}{2M_p c^2},$$

где M_p – масса протона.

Начиная со времени создания первого космотрона на 3 ГэВ (1953 г.) и кончая работой Серпуховского ускорителя на 75 ГэВ, в настоящее время (1973 г.) энергия в системе центра инерции увеличилась или соответствующие длины уменьшились в отношении $\sqrt{3/75} = 1/5$ – только в 5 раз...

Таким образом, с точки зрения иерархии длин и закономерностей, о которой шла речь выше, мы в течение последних 20 лет экспериментируем примерно в одной и той же области физических закономерностей. Хотелось бы, чтобы это существенное обстоятельство всегда имелось в виду при анализе ситуации в физике высоких энергий.

Скорее достойно удивления, как много нового открыто и открывается в этой сравнительно узкой области.

Не исключено, что одно из существенных экспериментальных достижений физики высоких энергий последних лет – это исследование сечений глубоко неупругих взаимодействий при рассеянии, в частности, лептонов (нейтрино, электронов) высоких энергий на нуклонах.

"65 лет назад Эрнест Резерфорд, наблюдая, как рассеиваются α-частицы на тонкой металлической фольге, пришел к выводу, что атом не является однородным, а состоит из отрицательно заряженных электронов, окружающих малые положительно заряженные ядра... Недавние эксперименты с электронами, ускоренными до энергии 21 ГэВ на двухмильном Стэнфордском линейном ускорителе, указывают на то, что история, по-видимому, повторяется на расстояниях, в 100 000 раз меньших, чем атомные. Оказалось, что электроны сверхвысоких энергий рассеиваются на протонах так, как никто не предполагал. Из этих опытов был получен вывод о том, что ядерные частицы обладают сложной внутренней структурой и состоят из точечных компонентов, названных партонами" [9].

Хотя толкование этих экспериментов совсем не столь однозначно, как это излагается Кендалом и Пановским[7], все же новая идея строения нуклонов из новых для науки частиц (партонов) возникла – она будет жить, проверяться в дальнейших экспериментах.

И в дальнейшем, конечно, не исключено ее экспериментальное подтверждение.

Но в данном случае речь идет о раскрытии следующей "матрешки" почти в буквальном смысле этого образа.

Правда, в отличие от ситуации со слабыми взаимодействиями современная теория не содержит конкретной предельной длины, с которой связывалось бы существование новых структурных единиц. Если подобные частицы и существуют, то мы не можем сказать, какое поколение ускорителей потребуется для их обнаружения. Не исключено, что прямые или существенные косвенные данные в пользу существования таких частиц могут быть получены на ускорителях ближайшего поколения.

Необходимо подчеркнуть, что в последние десятилетия появилась принципиально новая концепция о структуре материальных частиц. Если до последних

---

[7] Дело в том, что подобное поведение (увеличение) эффекта рассеяния лептонов на нуклонах, сопровождаемого множественным рождением частиц, все-таки предполагалось за несколько лет до осуществленных на СЛАКе экспериментов.

десятилетий в истории человеческой культуры господствовала идея, согласно которой, грубо говоря, частицы большей массы строились из частиц меньших масс, то в последние десятилетия возникла идея, в некотором смысле противоположная этой древней и, как казалось, очевидной идее: строить частицы меньших масс из частиц больших масс, сильное взаимодействие между которыми приводит к соответствующему дефекту масс данных систем. Здесь имеется в виду попытка строить π-мезоны из μ-мезонов (Венцель), π-мезоны из нуклонов и антинуклонов (Ферми–Янг), адроны из эсов ("*ace*" – туз), кварков (Цвейг, Гелл-Манн) и, наконец, из партонов Фейнмана.

В связи с этой модификацией фундаментальной концепции о самой природе структуры вещества, которую, кстати, можно рассматривать как одну из самых радикальных революций в наших представлениях о строении материи за всю нашу историю, возникает вопрос, могут ли быть какие-то соображения о существовании в природе максимально тяжелой частицы, которая могла бы быть предельным по массе структурным материалом для всех частиц. Любопытно, что из мировых констант можно построить целую группу близких по массе частиц, которые могли бы претендовать на эту роль. Из констант e (электрический заряд), g (мезонный заряд), $\hbar$ – постоянная Планка, c – скорость света, $\varkappa$ – гравитационная константа можно построить следующие величины, имеющие размерности массы:

$$m = e/\sqrt{\varkappa} \sim 10^{-6}\ \text{г}; \quad \sqrt{\hbar c/\varkappa} \sim 10^{-5}\ \text{г и т.д.}$$

Любопытно, что эта группа частиц максимально большой массы (скажем, "максимонов"), которую можно построить из мировых констант, вся лежит в узком интервале масс: 10^{-5}–10^{-6} г.

Соответствующие длины ($\hbar/mc$) лежат в области 10^{-33}–10^{-34}. С точки зрения иерархии длин эти длины должны находиться на самой нижней строчке приведенной таблицы. По-видимому, 10^{-33} см – это самая последняя длина в списке фундаментальных длин. На этой предельной длине, по-видимому, теряет смысл само понятие расстояния вообще из-за квантовых флуктуаций метрики. И с этой точки зрения эти длины и соответствующие им массы частиц должны бы действительно рассматриваться как предельные.

Но интерес к "максимонам" как возможным структурным элементам заключается в том, что при таких массах и таких размерах, как оказывается, только гравитационных сил достаточно для образования систем с желаемым дефектом масс. Возможно, что между слабой длиной (10^{-17} см) и, скажем, гравитационной длиной (10^{-33}–10^{-32} см) существует ряд иерархических длин, управляющих своими специфическими мирами физических явлений. Но в рамках существующих физических представлений и известных мировых констант пока нет места для каких-либо других длин.

Очень возможно, что эти гипотетические частицы в свободном состоянии нестабильны[8].

---

[8] Утверждение, что в настоящее время микрофизика имеет своим объектом "редкие экзотические растения", частицы короткоживущие, которые не имеют прямого отношения к "хлебу насущному", к той форме стабильного вещества, в котором мы существуем, не совсем точно. Во-первых, стабильные

Что касается высказанных утверждений, что "самый блистательный период в жизни микрофизики уже позади", то это положение, не вытекая логически из каких-либо обоснованных посылок, является просто одной из остро сформулированных дискуссионных (и, надо сказать, часто дискутируемых) тем.

Кстати, вопросы подобного рода уже не раз возникали в истории науки, и напоминать о них очень поучительно.

И здесь опять нелишне вспомнить известное утверждение Р. Милликена, относящееся к концу прошлого столетия, о том, что "все великие открытия в физике уже сделаны", характеристику, по свидетельству М. Планка, научного общественного мнения конца прошлого столетия, говорящую о том, что "теоретическая физика заметно приближается к той степени совершенства, какими уже столетиями обладает геометрия" [5]. В начале текущего столетия прозвучал гимн Д. Гильберта "Об абсолютной универсальности" теории относительности, способной дать исчерпывающее описание всех свойств материи, в конце первой четверти XX в. – рассуждения Фридмана и Фредерикса "О предсмертных часах знания". Можно привести также неоправдавшиеся и более современные высказывания. Можно полагать, что будущая история науки зарегистрирует много случаев рецидива мыслей о "конце знания", о конце науки.

Конечно, этот исторический экскурс ни в коем случае не является каким-либо доказательством против утверждения, что наиболее блистательный период микрофизики уже позади. Результатом этого экскурса может быть лишь большая осторожность в утверждениях. Но в известном смысле реальный и, кажется, довольно убедительный ответ на этот вопрос можно получить из анализа тех еще не решенных проблем, которые стоят перед микрофизикой. Конечно, в случае обнаружения более фундаментальных структурных элементов типа кварков или партонов перед нами возникнет действительно новый и в определенном смысле блистательный период науки. Но эта гипотеза не обязательно должна реализоваться. Есть, однако, проблемы, решение которых, безусловно, составит новую и притом, может быть, действительно самую блистательную эпоху в науке. И эти проблемы, как это представляется в настоящее время, видимо, прямо могут быть связаны с экспериментальными возможностями обсуждаемого поколения ускорителей.

Как это ни странно, но по очень крупному счету наше понимание физики не очень далеко ушло от понимания древних. Это утверждение звучит как парадокс. Но по крупному счету оно справедливо. Действительно, если древние греки считали

частицы – протоны, электроны, фотоны, нейтроны и сложные атомные ядра – по-прежнему остаются объектами исследования во всех областях энергии. И наиболее впечатляющие результаты физики высоких энергий (глубоко неупругие процессы) как раз связаны со взаимодействием именно таких частиц (протонов и электронов). Более того, такая короткоживущая частица в свободном состоянии, как нейтроны в связанном состоянии, стабильна и входит в стабильную ядерную материю.

По-видимому, такие короткоживущие частицы, как гипероны, являются структурными элементами коллапсирующих небесных тел и их посленейтронной стадии. Более того, если окажется, что партоны или другие подобные гипотетические частицы действительно явятся структурными единицами вещества, то, возможно, именно в свободном состоянии нестабильные, короткоживущие частицы ("экзотические") явятся тем "хлебом насущным", о котором говорится в статье Гинзбурга. Мы не можем утверждать, что так будет на самом деле, но эту возможность мы также не можем исключить.

фундаментальными сущностями четыре стихии: землю, воду, воздух и огонь, не понимая, как мы теперь сказали бы, фундаментальных свойств этих стихий, то современная физика пытается раскрыть все содержание реального мира как сложное взаимодействие различных "полей". Это те же четыре стихии древних: сильные поля, электромагнитные, слабые, гравитационные. И так же, как древние, мы пока далеки от понимания фундаментальных свойств этих стихий XX столетия. Другими словами, наши попытки описать свойства этих полей в отдельности – электродинамику саму по себе, слабые взаимодействия сами по себе и т.д. – оказываются несостоятельными.

Мы не понимаем и не можем количественно описать возникающий во взаимодействиях этих "стихий" спектр так называемых элементарных частиц. Мы практически давно пришли к мысли, что исследовать "до конца" каждое из таких взаимодействий в отдельности невозможно. Всегда наступает такой момент в физике высоких энергий, когда в поведении данного эффекта начинают принимать участие все другие взаимодействия и нельзя изъять из природы целиком одну из ее "стихий", не нарушив всего остального. Мы привыкли к мысли, что природа построена без архитектурных излишеств. В сущности, мы давно привыкли к мысли о единстве природы. Но мы не умеем описать единство четырех "стихий", хотя различными путями стремимся к нему. Фарадею удалось установить глубокую связь магнитных и электрических явлений. Но Эйнштейну не удалось объединить в единой картине гравитационные и электромагнитные взаимодействия. Гейзенбергу не удалось на основе некого фундаментального ψ-поля добиться успеха в понимании некоторых сторон этого единства. Но мы стремимся и будем стремиться к пониманию глубокого единства "стихий".

В настоящее время возникли идеи "нарушенных симметрий". В них пока брезжит возможность создания единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий.

Пока речь идет не об определенной конкретной теории, а скорее о некой стратегии в попытках построения такой теории в рамках универсализации трехчастичных взаимодействий. В этой концепции находит свое, казалось бы, естественное место идея промежуточного мезона, а его масса дается численными значениями, не очень далекими от энергетического значения того же унитарного предела[9]. В следующем поколении ускорителей именно о таких энергиях и идет речь. Развивающиеся концепции теории слабых и электромагнитных взаимодействий являются также одним из сильных аргументов в пользу построенных ускорителей на высокие энергии и строительства следующего поколения ускорителей. Следует также напомнить, что слабыми взаимодействиями обладают не только лептоны, но и адроны, поэтому уже в настоящее время становится ясным (это показывают различные конкретные варианты теории), что подобная последовательная концепция должна включать в себя единую теорию слабых электромагнитных и сильных взаимодействий. Есть серьезные основания полагать, что регуляризующая роль гравитационного поля может явиться также одним из

[9] В варианте этой теории, например для нейтрального промежуточного бозона, дается значение ~40 ГэВ, а для заряженного ~80 ГэВ.

наиболее существенных моментов этой концепции. Все сказанное скорее свидетельствует о том, что "блистательный период" микрофизики еще впереди.

Мы еще неоднократно будем возвращаться к обоснованию этого тезиса в дальнейшем, обсуждая некоторые дальнейшие проблемы физики будущего.

Место микрофизики в иерархии наук. Влияние микрофизики на другие науки и на технический прогресс

Вряд ли можно серьезно говорить о какой-то иерархии наук в формальном смысле этого слова вообще. Вряд ли имеет смысл вопрос, в каком иерархическом отношении находятся микробиология и микрофизика или микрофизика и социология. Но в рамках физики, вернее, в рамках науки, скажем, о "неживой" природе, нельзя не согласиться с Гинзбургом, что микрофизика является "аванпостом физики, ее самой передовой и глубокой частью". Отношение микрофизики к другим наукам характеризуется многими специфическими чертами, органически присущими именно микрофизике.

В статье Гинзбурга перечислено большое количество важных проблем, стоящих перед физикой и астрофизикой. Но эти проблемы, как правило, частные. Одна из характерных особенностей этих проблем заключается в том, что почти каждая из них, которая в настоящий момент представляется очень значительной и интересной, может при дальнейшем исследовании в существенной части или полностью потерять свою значимость и интерес и вычеркнуться из "титулованного" списка проблем. В настоящее время вычеркивается из этого списка, например, проблема тяжелой воды. Металлический водород может не обладать свойствами, которые удобно было бы, например, использовать в высокотемпературной сверхпроводящей технике.

Очень соблазнительна идея поисков и создания высокотемпературных сверхпроводников. Может оказаться, что в природе нет относительно устойчивых трансурановых элементов. Более перспективным для осуществления термоядерной реакции может оказаться, например, не лазерный вариант, а, как некоторые полагают, вариант электронный или даже в известном смысле традиционно термоядерный.

Это не значит, что перечисленные проблемы не представляют интереса. Ведь в случае нахождения высокотемпературных сверхпроводников возникла бы подлинная революция в технике. Здесь хочется подчеркнуть отличие частных физических проблем от генеральной проблемы микрофизики – исследовать физические явления во все меньших пространственно-временны́х областях. Это генеральная проблема мировоззренческого характера – она имеет абсолютную ценность независимо от результата исследования: необходимо знать, каков мир физических явлений в этих областях физического мира, и это стремление знать для человечества представляет цель, к которой оно всегда будет стремиться. Это такое же естественное стремление, которое влечет нас к исследованию и ультрамакроскопических глубин Вселенной, к астрономии и астрофизике.

Но, отвлекаясь от этих общих положений, возвращаясь к конкретной теме настоящего раздела, мы можем лишь повторить, что на ускорителях существую-

щего и следующего поколений, во всяком случае на длинах 10^{-17} см, мы раскроем тайну природы слабых взаимодействий. А какова она, т.е. окажется ли, что истинное взаимодействие аналогично электродинамическому (трехчастичному) или действительно истинное слабое взаимодействие – это четырехфермионное взаимодействие, – и тот и другой результат явится фундаментальным, фундаментальными окажутся изменения уровня нашего знания природы.

Уже говорилось о том, что с самого момента возникновения четырехфермионной формулировки слабых взаимодействий казалась заманчивой идея свести четырехфермионное взаимодействие к трехчастичному по типу электродинамики и других известных взаимодействий. То, что слабые взаимодействия в этой теории оказывались взаимодействиями особой природы, так сказать, "белой вороной" в семействе всех взаимодействий, делало идею унификации всех взаимодействий естественной и очень привлекательной. Если же в обсуждаемых экспериментах выяснится, что слабые взаимодействия сохраняют четырехфермионное своеобразие, то тогда притягательную силу будут иметь и прямо противоположные идеи о структуре взаимодействия[10]. С самого момента появления в физике таких величин, как спиноры, было известно, что из двух спиноров можно построить объекты с различными трансформационными свойствами – вектор, тензор, скаляр и т.п. Так возникла в свое время идея нейтринной теории света – вектор электромагнитного поля строить из двух спиноров, описывающих нейтрино. С самого начала появления в физике спиноров возникла и живет идея фундаментальности именно спинорных полей, которые, возможно, определяют структурно и все другие поля. Таким образом, эксперименты в обсуждаемой энергетической области в случае подтверждения истинности четырехфермионного взаимодействия, безусловно, оживят эту по-своему также необычайно привлекательную концепцию. Мы видим, таким образом, на каком важнейшем перекрестке дорог дальнейшего развития науки о природе оказываются эксперименты в этой конкретно обсуждаемой энергетической области.

В последние годы больших успехов достигла астрофизика – обнаружение реликтового излучения, новых астрофизических объектов, таких, как квазары, пульсары, нейтронные звезды и, возможно, черные дыры, – все это привлекает внимание широкой научной общественности. Можно даже встретить утверждение, что именно астрофизике в настоящее время следует отдать предпочтение среди других физических наук [1]. Слов нет, успехи астрофизики большие, слов нет, ей пока у нас уделяется недостаточно материальных средств и внимания. А в то же время астрофизика стала в большей степени, чем раньше, экспериментальной наукой. Это обстоятельство связано с тем, как справедливо формулирует Гинзбург, что в настоящее время астрофизика становится всеволновой. Если раньше астрофизические исследования велись только в области оптических длин волн, то теперь появление, с одной стороны, радиоастрономии, с другой – рентгеновской и γ-астрономии необычайно расширяет экспериментальные возможности астрофизики и получения новых сведений из космоса. А впереди многообещающая нейтринная астрономия и астрофизика гравитационных волн.

---

[10] Т.е. идея четырехфермионной структуры всех взаимодействий.

Безусловно, в астрофизике в последние годы получены существенные результаты, сделаны открытия. Но наиболее блестящее открытие в астрофизике это, повидимому, все-таки открытие не последних лет. Это, по-видимому, то открытие, которое почти полсотни лет назад привело к модели нестационарной расширяющейся вселенной с метрикой, возможно, типа фридмановской.

По сравнению с этим открытия квазаров, нейтронных звезд и черных дыр, конечно, менее впечатляющи.

Если осмелиться проявить уже упоминавшуюся на этих страницах неосторожность, то можно было бы высказать мысль, что наиболее блестящий период в развитии астрофизики уже позади. Но не хотелось бы брать на себя роль пророка. Далее небезынтересно заметить, что астрофизика в каком-то смысле становится ближе микрофизике. Ведь нейтронные звезды – это, в сущности, грандиозные атомные ядра.

На какой-то стадии даже гиперядра. Нейтронные звезды – это макроскопическая форма ядерного вещества.

С другой стороны, в настоящее время широко обсуждаются глобальные свойства черных дыр, и очень похоже, что подобное состояние материи следует учитывать при построении последовательной теории элементарных частиц[11]. Астрофизика, вернее, общая теория относительности в принципе допускает существование таких объектов с почти закрытой внутренней метрикой, как фридмоны[12]. Эта возможность делает относительными сами понятия "макро" и "микро".

---

[11] Последнее замечание связано с тем, что в современной теории элементарных частиц в промежуточных состояниях допускаются состояния как угодно большой энергии. Полная масса промежуточного состояния может быть больше массы любого космического тела. Но в то же время в нарушение всякой логики современная теория игнорирует в этих состояниях гравитационные взаимодействия этих масс. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что если в промежуточном состоянии оказывается масса порядка $M \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa}} \sim 10^{-5}$ г, то гравитационный радиус массы $r_{грав} = \frac{2\varkappa M}{c^2} = 2\sqrt{\frac{\hbar\varkappa}{c^3}}$ совпадает с областью локализации этой массы, допускаемой соотношением неопределенностей Гейзенберга $l \sim \frac{\hbar}{Mc} = \sqrt{\hbar c}\sqrt{\frac{\hbar c}{c^2}}$. При дальнейшем увеличении энергии промежуточного состояния гравитационный радиус должен был бы соответственно возрасти. Но, с другой стороны, области локализации промежуточного состояния, согласно соотношению Гейзенберга, должны соответственно уменьшаться и при $M \geqslant \sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa}}$ становились бы меньше гравитационного радиуса. Если подобная ситуация возникла бы в области применимости классической физики, мы бы сказали, что речь идет о системе, масса которой находится под гравитационной сферой Шварцшильда, т.е. о системе типа черной дыры.

[12] Кажется, совсем недавно возникла идея кварков, но теперь перед нами большая область физики элементарных частиц. Идея эта вошла в науку не как "госпожа", а скорее как "слуга", как некоторое формальное представление, удобное для ряда расчетов.

Здесь мы встречаемся (будет сказано не в укор этой идее) со случаем своеобразного "теоретического эмпиризма" – таким теоретическим эмпиризмом отмечено и появление таблицы Менделеева. В известном смысле судьба этой идеи пока скорее напоминает начальную историю появления в

Есть некоторые основания полагать, что конечная стадия коллапса звезд – это проблема микрофизики.

Наконец, в начальный момент развития, когда вселенная была локализованной, допустим, в области 10^{-13} см, – принадлежит ли подобный объект ведению макро- или микрофизики?[13]

А какой таинственностью окружен пока этот момент начального взрыва? Какие неожиданности могут возникнуть в изменениях наших представлений о физических законах, когда наступит понимание физики этого события? Может быть, этот момент и будет самым блистательным этапом в истории астрофизики (а может быть, и микрофизики?). Последние замечания представляют собой существенные поправки к положению Андерсона об автономности наук.

Конечно, физика высоких энергий (или более общо – микрофизика) не является иерархическим базисом всех наук. И действительно, любой изолированный результат физики высоких энергий может не иметь никакого отношения к биологии, химии, социологии или философии. Но тем не менее прямое и непрямое влияние всей развивающейся области микрофизики на все науки в целом больше, чем какой-либо другой конкретной научной области. Очень существенно отметить и непрямое влияние современных фундаментальных исследований физики высоких энергий на науку и технику вообще. Дело в том, что эта область исследований сопровождается появлением принципиально новой, очень совершенной физической аппаратуры, часто принципиально новой техники, которая находит применение во многих областях науки и техники, народном хозяйстве вообще и оказывает существенное влияние на технический прогресс в целом. Масштабы этого влияния недостаточно изучены, и оно пока ждет своего исследования. Мы не будем напоминать о большой роли ускорителей в различных областях науки, медицины и народного хозяйства.

Можно, например, напомнить, что многоканальные анализаторы возникли в экспериментальном оборудовании микрофизики, а какое широкое применение многоканальные анализаторы находят теперь в различных областях науки! Как учесть ту выгоду, которую приносят мировому хозяйству те усовершенствования, которые введены экспериментальной микрофизикой в использование электронно-вычислительных машин? В настоящее время широкое развитие начинает принимать использование синхротронного излучения различного диапазона волн в химии, физике твердого тела, биологии. Неизвестно, к каким открытиям в биологии могут привести новые богатые возможности исследования временны́х изменений в клетках с помощью синхротронного излучения в ангстремном диа-

---

физике такого объекта, как нейтрино. Понятие нейтрино возникло также как "подсобное" понятие для формулировки ситуации с законами сохранения при β-распаде.

В настоящее время еще не ясно, повторит ли идея кварков последующую историю открытия нейтрино. Но пока ясно одно, что эта идея оказалась эвристически необычайно ценной – она инициировала многие эксперименты и возникновение неожиданно новых направлений в теории поля, чреватых существенной ломкой наших теоретических представлений о поле, об элементарных частицах и т.д. Не присутствуем ли мы при начале "нового блистательного периода микрофизики"?

[13] Примерно при таких размерах вселенной достигается так называемая квантовая плотность материи.

пазоне. Еще раньше биологии был "подарен" электронный микроскоп, физика же твердого тела в синхронном диапазоне волн 10–2000 Å еще ждет своего развития.

Можно, например, утверждать, что следующее поколение ускорителей получит свое дальнейшее развитие, которое окажет существенное влияние на применимость сверхпроводящей техники во многих областях народного хозяйства. Выше шла речь о непрямом влиянии экспериментальной физики высоких энергий на другие науки и технический прогресс. Но не менее важно и достойно внимания то обстоятельство, что теоретический аппарат, формализм теории, развивавшийся, казалось бы, в рамках потребностей физики элементарных частиц, нашел и находит, как известно, блестящее и эффективное применение в других областях физики, в частности в физике твердого тела. Не хотелось бы еще раз вспоминать предложения Андерсона о замедлении теоретических исследований в области физики высоких энергий. Очень уж незавидна роль того персонажа из басни, который по причине, как мы сказали бы, узости кругозора изрекал известную фразу: "лишь были б желуди"...

Утверждение, что широкое практическое применение эффектов самой микрофизики уже исчерпано, не является логическим выводом из каких-либо бесспорных посылок. Когда имеют в виду практические применения ядерной физики в прошлом, то обычно речь идет об использовании энергии, выделяемой в ядерных реакциях. Но это ведь только примерно один процент от всей энергии, которая заключается в веществе.

С тех пор как в науке появилось соотношение $E = mc^2$, возникла и остается манящая проблема использования полной энергии вещества. Я уже слышу "крики беотийцев"[14] и фразу типа той, которая звучала в цитированной речи Резерфорда. Что ж, мы знаем историю, знаем, насколько неудачным оказался прогноз авторитетнейшего ученого.

Мы действительно пока не знаем путей использования этой энергии, но значит ли это невозможность использования и в будущем? Во всяком случае, неиспользуемая кладовая энергии в природе существует. В будущем, вероятно, будут найдены технические возможности долговременного хранения значительного количества антивеществ, этого максимально калорийного топлива.

По современным представлениям, энергия, выделяемая Солнцем, возникает в результате ядерных реакций одновременно с испусканием мощного потока нейтрино. Этот поток нейтрино пока не обнаружен. Если десятикратное уточнение эксперимента не приведет к обнаружению солнечных нейтрино, мы будем вынуждены искать нетривиальные объяснения явления. Кстати, на этот случай теоретики заготовили одну из нетривиальных возможностей. Она возникла из попыток объяснить пока еще загадочный эффект нарушения так называемой четности в распаде K_L^0-мезона на две π-частицы. В одном из вариантов теории, разрабатываемой в Серпухове, возникает нарушение закона сохранения энергии. Оказывается, что это нарушение закона сохранения энергии достаточно для наблюдаемого энерговыделения Солнца без испускания ожидаемого числа нейтрино.

---

[14] Здесь М.А. Марков имеет в виду "невежественное большинство". – *Примеч. сост*

Конечно, исходя из здорового научного консерватизма, мы должны "морально" сопротивляться этой экстраординарной возможности, но, а если...

К сожалению, о будущих возможностях науки мы, по существу, не можем сказать многого. Мы не можем говорить о том, чего мы еще не знаем. Обычно самое важное и значительное в новой области исследований (как учит нас история) – это неожиданное и непредвиденное. И существенный аргумент в пользу микрофизики заключается в том, что именно здесь неожиданное наиболее вероятно. Нельзя предвидеть, какие практические применения возникнут на основе будущих исследований микрофизики, еще более необоснованными были бы любые отрицательные суждения.

Обычно чреваты далеко идущими последствиями те явления, которые не находят пока объяснения в рамках устоявшихся представлений. Мы действительно не знаем, к чему нас приведет понимание пока непонятной ситуации с нарушением комбинированной четности и распада K_L^0-мезона. Мы еще не знаем, что таит в себе пока непонятная ситуация с отсутствием ожидаемого потока солнечных нейтрино. Мы пока продолжаем мыслить привычными понятиями. Не исключено, что мы еще входим в микромир с макроскопической невежливостью – "в пальто и калошах".

"На каждом историческом этапе какая-либо одна из научных дисциплин, принадлежащих к большому региону естествознания, выходит на авансцену и становится знаменем научного прогресса" [1]. Как следует из сказанного выше, есть определенные основания полагать, что на длинах, близких к энергетическому унитарному пределу (300 ГэВ в системе центра инерции), на "авансцену" снова выходит физика, физика высоких энергий. Хотелось бы еще раз подчеркнуть, что мы здесь совсем не ставим своей целью доказательство необходимости сооружения ускорителей на высокие энергии вообще. Речь идет об ускорителях именно на определенную энергию (300 ГэВ[15] в с.ц.и.) с вполне определенными задачами[16], и игра здесь определенно стоит свеч.

Итак, второй раз на протяжении четверти столетия возникает целенаправленный проект ускорителя, строительство которого заранее оправдано ожидаемыми результатами.

Надо ли строить затем ускорители на большие энергии – этот вопрос остается открытым: в настоящее время у нас нет конкретных аргументов в пользу такого утверждения. Не исключено, что ускорители этой генерации окажутся последними (по предельной энергии) в истории ускорительной техники. В связи с этим мы не обсуждаем, какой тип ускорителей на данную энергию следует считать пред-

---

[15] Имеется в виду порядок 300 ГэВ, но, по существу, речь идет о 300 ГэВ и выше, например 300–400 ГэВ.

[16] На основании целесообразности сооружения такого ускорителя мы ограничились задачами, заведомо имеющими решения (альтернативные), любое из которых оправдывает сооружение. Мы совсем не касались обширной программы физических исследований (асимптотические проблемы и пр.), которая переходит к этому ускорителю "в наследство" как продолжение работ ЦЕРНа, Серпухова и Батавии. Мы это сделали сознательно, чтобы сказать: "А кроме того, имеется широчайшая программа исследований на этом ускорителе, которой мы здесь не касаемся". С подобной программой исследований можно познакомиться в статье Блохинцева и др. [2].

почтительным: традиционный ли, со встречными пучками (и в этом случае протонно-протонный) или протонно-антипротонный, электронно-протонный и электронно-позитронный. Правда, очень соблазнителен по ряду возможностей ускоритель на встречных электронно-протонных пучках. Но обсуждение конкретного варианта ускорителя этого поколения – это вопрос особый. Этот вопрос требует длительной и кропотливой работы.

УДОРОЖАНИЕ НАУК

Очень часто приходится слышать утверждение, что физика высоких энергий стала дорогой. Это утверждение справедливо. Но, к сожалению, справедливо более общее утверждение: все науки становятся дорогими. Дело в том, что постепенно наступила эра, если можно так сказать, индустриализации наук. Правда, именно ядерная физика была инициатором и первым объектом серьезной индустриализации ее экспериментальной базы, что явилось прецедентом создания мощных установок, в сущности, во всех областях науки. В атомной физике был впервые преодолен и чисто психологический барьер бытовавшей "скромности" экспериментальных установок, предназначенных для научных исследований. Появилась практика создания установок такого большого масштаба, которая ранее отсутствовала. А главное, доказана реальная возможность и целесообразность такой индустриализации. Конечно, на самом деле идет речь не о психологическом эффекте, а о реальном и материальном процессе в развитии наук. Наука в широком смысле этого слова стала более, чем когда-либо, существенным элементом технического прогресса, а высокий технический прогресс индустриализирует науку. Следует сказать, что наука, посвященная космосу, по своей дороговизне давно и намного обогнала физику. Во многих других областях наук необходимость больших затрат также быстро возрастает. Теперь стало очевидным: создание в стране ускорителя, предельного по своим параметрам, в настоящее время это не просто организация еще одного института, это появление нового национального, а по своим тенденциям нового международного центра по физике высоких энергий[17].

Подобный центр координирует научную деятельность многочисленных научных институтов, которые принимают участие в его работах.

Организация подобного центра почти в любой области науки требует материальных затрат, которые в своих тенденциях в различных областях науки, видимо, стремятся к существенному количественному сближению. Так, в августовском номере "Physics Today" за 1972 г. опубликована программа предполагаемого финансирования астрофизических исследований на предстоящее десятилетие. Эта программа разработана специальным комитетом под руководством Гринстейна. В совокупности стоимость этой программы оценивается около 800 млн долл. Стоимость лишь одного радиотелескопа, строительство которого предполагается завершить в 1980 г., выражается в сумме, близкой к 80 млн долл. Другой пример,

[17] Эти тенденции перерастания национальных центров в центры международные могут существенно облегчить и проблему финансирования.

передовой в научном отношении: национальный центр по физике твердого тела должен содержать в своем комплексе достаточно мощный исследовательский реактор, различного рода ускорители, в том числе ускоритель, эксплуатирующий синхротронное излучение, современный парк вычислительных машин – все это вместе на первой очереди строительства такого центра требует вложения примерно 100 млн руб.

Хорошо экипированный Национальный биологический центр (передовые по конструкции центрифуги, электронные микроскопы, соответствующие ускорители, в том числе дающие синхротронное излучение в необходимом диапазоне, парк вычислительных машин и т.д.) в течение нескольких лет реализует ассигнования в размерах 100 млн руб.

Строительство современного национального центра, например по борьбе с раковыми заболеваниями, вооруженного современной передовой техникой до π-мезонной терапии включительно и диагностирующих ЭВМ, требует затрат того же порядка. Ускоритель следующего поколения и ускоритель унитарного предела потребуют до 1990 г. затрат не больше тех, что планируются на развитие астрофизики в США.

Иногда приходится слышать высказывания, что следующие поколения ускорителей надо строить не путем использования затрат больших денежных средств, а с помощью, образно выражаясь, "серого мозгового вещества", находя новые нетрадиционные возможности в ускорительной технике. Конечно, поиски новых возможностей в ускорительной технике необходимы, и они ведутся. Но опыт строительства в физике высоких энергий свидетельствует о том, что все то, что создается вокруг ускорителя, в том числе и техника, необходимая для экспериментов, требует финансовых затрат больших, чем стоимость самого ускорителя. Таким образом, если в будущем посчастливится найти возможность, которая сведет к нулю стоимость самого ускорителя, затраты на создание всего центра сократятся менее чем наполовину. Практически, видимо, дело идет об уменьшении общих затрат на создание центра на какие-то не очень большие проценты, что вряд ли имеет принципиальное значение для обсуждаемой проблемы.

Совет Дайсона заменить исследования на ускорителях исследованиями в физике космических лучей не является полезным советом, а аргументы, приводимые Дайсоном, хотя во многом и справедливы, но несостоятельны в главном. Исследования в космических лучах дали очень много ценного и существенного для физики высоких энергий.

Эту заслугу физики космических лучей справедливо подчеркивает Дайсон. Справедливы и советы Дайсона активизировать исследования в физике космических лучей. Дело в том, что представители ускорительной физики высоких энергий недооценивали и недооценивают результаты и возможности физики космических лучей. Эта недооценка и иногда игнорирование данных по космическим лучам часто являются результатом незнакомства с ними. И отчасти, надо сказать, обязана непривычному и чуждому ускорительной технике качественному мышлению "космиков": очень часто им приходится делать заключение на основании далеко не точных данных, по необходимости из-за их неполного набора. Хотя во многих случаях эти выводы оказывались соответствующими действительности.

С другой стороны, именно строго количественный характер данных, получаемых на ускорителях, "деморализовал" и самих "космиков", работавших ранее в этой же энергетической области. В результате у исследователей космических лучей возник своеобразный "комплекс неполноценности", который и задержал процесс индустриализации этой области исследований.

Та дешевизна физики космических исследований, которая подчеркивается Дайсоном, относится к прошлому.

Если заниматься физикой космических лучей серьезно (т.е. результативно), она также перестанет быть дешевой. Внеатмосферная физика космических лучей требует создания хорошо ориентированных орбитальных станций. Некоторая скромная часть подобной программы запланирована в том же докладе Гринстейна наряду с внеатмосферной рентгеновской и γ-астрономией на общую сумму 380 млн долл. Но даже более совершенная и более дорогая внеатмосферная физика космических лучей не в состоянии выполнить ту программу исследований, которая вырисовывается в возможностях ускорителей следующего поколения. Отдельные темы наземной физики космических лучей, конечно, представляют большой интерес в этой области энергии и тех задач, которые не пересекаются в текущем десятилетии с ускорительной физикой высоких энергий. Они могли бы играть роль качественных и полуколичественных ориентиров для ускорительной физики следующего поколения. Но здесь стоимость эксперимента значительно возрастает благодаря необходимости вести существенным образом его индустриализацию и соответственно увеличить масштабность.

Так постепенно отмирает миф о дешевизне современных экспериментов в научных областях, не связанных с физикой высоких энергий. Дороговизна современного эксперимента имеет ту же причину, что и дороговизна современного воздушного лайнера по сравнению с затратами на самую роскошную почтовую карету конца XVIII в.

Но возможность подобных затрат в различных областях народнохозяйственной деятельности обязана непрерывно возрастающим национальным доходам, возрастание которых, в свою очередь, обязано техническому прогрессу и в конечном счете той же науке. Следует напомнить, что общая сумма мировых затрат на науку составляет лишь малую часть мирового бюджета.

И выделение средств на развитие наук пока еще в существенной части не всегда определяется рационально внутренними потребностями науки, а тем, сколько "можно" выделить на науку в ряду других затрат. Но в этом "можно" еще столько неопределенностей и случайностей.

Речь идет не о том, чтобы делить произвольно наперед заданные, прямо скажем, не очень большие размеры "пирога" (говоря словами Андерсона), а о том, чтобы естественно, целесообразно, рационально и потому в конечном счете выгодно ассигнование средств на развитие науки привести в разумное соответствие с внутренними и естественными потребностями различных научных направлений.

Если этого нет, то существенная вина и нас, ученых, заключается в том, что мы не смогли еще убедить современный мир, общество в необходимости рационального, истинно планового подхода к финансированию науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арцимович Л.* // Природа. 1972. Т. 9.
2. *Блохинцев Д.И.* и др. // Успехи физ. наук. 1973. Т. 109. С. 259.
3. *Гинзбург В.Л.* // Там же. 1971. Т. 103, вып. 1.
4. *Грегори Б.* // Там же. 1965. Т. 86, вып. 4.
5. *Планк М.* От относительности к абсолютному. Вологда, 1935.
6. *Anderson Ph.W.* Are the big machines necessary // New Sci. 1971. Vol. 51, N 767.
7. *Cole C.* // Ibid.
8. *Dayson F.* // Phys. Today. 1971. Vol. 23.
9. *Kendall H.W., Panofsky W.* // Sci. Amer. 1971. Vol. 224.

УЧЕНЫЕ И БУДУЩЕЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА*

Мы должны поведать о металле, известном нам под названием железа, о металле самом полезном и самом губительном в руках человека. Ибо при помощи железа мы копаем землю, сажаем деревья, возделываем наши виноградники и заставляем их каждый год наливаться свежими соками, срезая засохшие лозы. С помощью железа мы возводим дома, дробим камни и выполняем множество других полезных работ. Но с помощью железа также ведутся войны, совершаются убийства и грабежи. И это происходит не только в рукопашном бою, но даже на расстоянии, с помощью метательных машин и крылатого оружия, пускаемого то катапультой, то человеческой рукой и снабженного перьями. Последнее я рассматриваю как самое преступное изобретение, придуманное человеческим разумом. Ибо, как бы желая навлечь на человека быстрейшую смерть, мы дали железу крылья и научили его летать. Так давайте же не будем судить Природу за то, в чем повинен сам человек.

Ведь существуют же примеры, доказывающие, что железо можно использовать только в невинных целях. В договоре, который заключил Порсена с народом Рима после изгнания царей, мы находим выразительные строки о том, что железо должно использоваться только для возделывания полей. Существует и поныне действующий эдикт, запрещающий хранение любого оружия в Риме, который был издан в период третьего консульства Помпея Великого во время бунтов, вспыхнувших после смерти Клавдия.

ПЛИНИЙ Ст., XXXIV, 138–139

Ученые являются составной частью общества, в котором они живут и трудятся. Как и все граждане, они находятся в различных социальных, правовых условиях, относятся к разным социальным группам по своему положению, по своим убеж-

* Наука и ответственность ученых. М.: Наука, 1981. С. 215–225.

дениям. Все эти обстоятельства нельзя не учитывать, когда речь идет о позиции ученого по тем или иным частным проблемам. Но сегодня мы говорим о высшей ответственности ученых – ответственности за дальнейшее существование всего человечества.

Общие этические нормы абстрактного человеческого общества, например в форме категорического императива Канта, не могут быть эффективны в применении к рассматриваемой проблеме. Общие этические нормы могут иметь известный вес среди членов какой-то достаточно однородной по многим показателям социальной группы.

Клятва Гиппократа, приносимая медиками при вступлении на поприще практической деятельности, обладает известной этической силой. Но сколь часто такого рода этические барьеры рушатся в столкновении с жестокими законами жизни в мире наживы, погони за прибылью. Неоднократно предлагавшиеся аналоги клятвы Гиппократа[1] для ученых всего мира могли бы стать в лучшем случае не более чем полезной утопией. Напомним одно событие периода второй мировой войны.

Известно, какую роль сыграли передовые ученые, группировавшиеся в это время в Америке, в их числе А. Эйнштейн, в создании первой атомной бомбы. Именно ученые, занимавшие в те годы прогрессивные в научном и социальном смысле позиции, стали инициаторами создания этого ужасного оружия.

Над планетой тогда нависла мрачная опасность торжества фашизма. Физики прекрасно понимали, что означало бы появление атомного оружия в руках правителей нацистской Германии. Ученые США не очень-то уповали на то, что физики Германии – в прошлом даже их близкие друзья – откажутся, исходя из гуманистических соображений, содействовать столь опасному росту военного могущества нацистского рейха. Эйнштейн, как и некоторые его коллеги, прекрасно понимал, сколь сильны и разнообразны в современном обществе факторы, ограничивающие свободу человека, помимо даже тех ограничений, которые налагаются теми или иными законами данного государства[2]. Ученые не строили никаких иллюзий на тот счет, будто абстрактные этические нормы, которые, в частности, формулировались в свое время еще Кантом, воздвигнут перед их немецкими коллегами непреодолимые преграды для создания подобного оружия в гитлеровском рейхе.

Убежденный пацифист, Эйнштейн был вынужден выступать за создание самого страшного оружия. Сознание своей ответственности перед человечеством

---

[1] Профессор Р. Фукс на лондонской Всемирной конференции ученых (1955 г.) предложил, например, такой вариант этой клятвы: "Понимая, что мои научные знания дают мне все возрастающую власть над силами природы, я клянусь использовать эти знания и эту власть исключительно на благо человечества и воздерживаться от любой научной деятельности, которая, на мой взгляд, может иметь пагубные последствия".

[2] Вот пример, относящийся к более позднему периоду. Эйнштейн принимал деятельное участие в одном из комитетов Лиги Наций в самом начале возникновения (Committee on Intellectual Cooperation), где, по-видимому, задавали тон французы. Эйнштейн хотел в соответствующий Германский национальный комитет вовлечь Макса Планка. О своей неудаче Эйнштейн пишет Лоренцу в декабре 1928 г.: "Если я могу верно судить о позиции Планка, он сам бы не прочь сотрудничать, но лояльность по отношению к той социальной группе, к которой он принадлежал, делала это невозможным".

было существенным аргументом в пользу этой инициативы ученых, а лейтмотивом ее было стремление упредить Гитлера в обладании атомным оружием.

Атомное оружие появилось уже после разгрома фашистской Германии. И тем не менее оно было использовано для уничтожения гражданского населения городов Японии – для демонстрации мощи, не вызывавшейся никакой военной необходимостью. И об этом ужасном факте истории никогда нельзя забывать.

В прошлом на кораблях был дежурный матрос – "впередсмотрящий", обязанностью которого было смотреть вперед по курсу корабля и предупреждать о возможной опасности (теперь эту обязанность выполняют локаторы). Среди "впередсмотрящих" в современном обществе важнейшую роль призваны играть ученые. Предупредить человечество об опасностях, которые могут возникнуть на путях человеческой истории, – ответственнейшая обязанность деятелей науки.

Предыдущие фразы прозвучали, может быть, слишком торжественно и самонадеянно. Ответственность ученого, на мой взгляд, включает в себя также обязанность сделать общим достоянием понимание того факта, что само так называемое научное предвидение весьма ограниченно. Оно способно указывать лишь часть опасностей, о которых здесь идет речь.

Научное предвидение в чистом виде справедливо и действенно в кругу твердо установленных наукой закономерностей. Используя найденные наукой законы, можно предвидеть многое, в частности отдельные направления и даже общие контуры технического прогресса.

И все же одна из особенностей развития науки и применения ее в техническом прогрессе – это непредсказуемость ее будущих, иногда не очень близких, но наиболее существенных результатов. История свидетельствует о том, что наша техническая, научная фантазия способна лишь очень недалеко проникать в будущее.

Развитие науки, техники показывает, сколь примитивна техническая фантазия прошлого, насколько фантастичнее этой фантазии оказывается последующий реальный технический прогресс. Не только наша научная фантазия о будущих, не близких возможностях технического прогресса часто беспомощна предвидеть наиболее яркие и существенные моменты его развития, но и, так сказать, ненаучная, свободная фантазия литераторов-фантастов, новеллистов не очень далеко уносит ее авторов от их исторической эпохи.

Помнится, в знаменитом творении Джона Мильтона ("Потерянный рай" и "Возвращенный рай") описывается сражение между Силами Неба и Силами Сатаны. Он стремится дать поэтическое, предельно фантастическое описание этого сражения, происходящего на Земле, не ограниченное никакими реалистическими рамками. Чувствуется, что автор хотел нарисовать наиболее фантастическую картину этого сражения и продемонстрировал действительно сатанинскую хитрость в изобретении нового оружия. Таким изобретением оказалось, в сущности, лишь тяжелое огнестрельное оружие – атомной бомбы Джон Мильтон не предвидел. Кстати говоря, ее не могли предсказать и некоторые весьма авторитетные ученые в совсем недавнем прошлом.

Напомним известное всем физикам утверждение: "Всякий, кто ожидает получения энергии от трансформации атомов, говорит вздор". Это – цитата из речи Э. Резерфорда на съезде Британской ассоциации содействия развитию науки 11 сентября 1933 г.

Всемирно известное имя автора этого заявления, который был основоположником экспериментальной атомной физики, не требует каких-либо превосходных эпитетов в самой широкой аудитории. И тем не менее эти его слова прозвучали всего лишь за 12 лет до того, как первая атомная бомба была сброшена на Японию.

Теперь еще один небольшой экскурс в историю.

Первая мировая война была начата винтовками, пушками, холодным оружием, закончена (и этого никто не мог предсказать) танками и газами.

Начало второй мировой войны характеризовалось широким использованием автоматического оружия, танков и самолетов, а в конце войны уже возникло (и этого также никто не мог предсказать) атомное оружие.

Если начнется третья мировая война (и даже будет запрещено ядерное оружие), то невозможно сейчас предсказать, какое новое оружие было бы изобретено, если бы столь сильно возросшие материальные и интеллектуальные ресурсы всех континентов были обращены на поиски новых возможностей достижения военной победы. Мы не можем сегодня предсказать, какие появятся конкретные виды оружия, но, исходя из необъятных возможностей науки и возрастающей мощи этих возможностей, можем с определенностью сказать: они могут быть ужаснее всего, что мы знали до сих пор. И их применение приведет к истреблению всего живого на Земле.

Естественно, возникает вопрос: что может быть ужаснее ядерной бомбы? Мы будем счастливы, если будущая история не ответит на этот вопрос.

Предупреждать человечество об угрозах, создаваемых мировыми политическими кризисами, – также непосредственная и ответственная обязанность ученых. Ведь даже поддающиеся оценке последствия возможных мировых конфликтов равнозначны в наше время смертельной опасности для всего человечества.

В настоящее время противостоящие военные группировки держав находятся в состоянии своеобразного военно-стратегического равновесия, которое делает бессмысленными всякие попытки решать политические задачи с позиции силы. Если это равновесие в какой-то момент нарушается одной из сторон, то другая сторона (таковы их материальные и технические ресурсы) имеет все возможности быстро достигнуть нового равновесия.

Для констатации такого положения сегодня не требуется даже особых консультаций квалифицированных военных экспертов. Это равновесие является, в сущности, следствием своеобразной термодинамики современного общества.

К сожалению, этот процесс на земном шаре ведет пока к непрерывному повышению его, так сказать, "средней температуры": уровень вооруженности в мире непрерывно возрастает.

Пока что очень многие из "сильных мира сего" на Западе все еще руководствуются давно изжившим себя девизом: хочешь мира – готовься к войне. Этот лозунг имеет свою примитивную убедительность, свою философию, на нем, если

угодно, основывается теория, которую исповедуют определенные круги США и ряда других стран. Ответственность ученых состоит в том, чтобы убеждать общественное мнение в ложности, а главное – в смертельной опасности для человечества подобной философии, даже когда этот девиз выступает в ложно-пацифистском обличии. Этот пацифистский грим приготовляется на идеях "сдерживания путем взаимного устрашения".

Одним из источников, поддерживающих жизнеспособность подобных идей, являются трудности в осуществлении конкретных шагов к разоружению. Вооружаться пока "легче".

Длительная история безуспешных попыток человечества претворить в жизнь идею разоружения не оставляет, казалось бы, места для оптимизма.

Можно, конечно, напомнить приведенную в эпиграфе цитату из сочинения Плиния Ст., и она будет звучать как гротескное описание современных нам проблем разоружения, хотя от Плиния нас отделяют девятнадцать веков. Но вопреки этим урокам прошлого мы можем сегодня со всей ответственностью сказать, что наше будущее может существенно отличаться от прошлого, ибо в наше время создалась ситуация, которая не имеет аналогии в прошлом. Не имеют аналогов в прошлом ни нынешние материальные затраты на вооружения, ни разрушительная сила современного оружия, угрожающая существованию всего живого на Земле.

Давно стало ясно, что следующая мировая война грозит гибелью всем. Те масштабы, которые принимает ныне гонка вооружений, свидетельствуют о крайне ненормальном положении в международных делах. Такое динамическое состояние общества не может продолжаться неограниченно долго. Говоря математическим языком, у этого уравнения состояния нет асимптотического решения.

Перед народами возникла задача, подобной которой не было в прошлом, – извлечь мир из безумия гонки вооружений. В настоящее время имеется понимание того, что существует одно-единственное решение этой проблемы: признание идеи мирного сосуществования государств с различными социальными системами. В условиях международной разрядки, расширения взаимовыгодного мирного сотрудничества и укрепления доверия может быть положен конец гонке вооружений. А затем последовали бы практические шаги к снижению уровня вооруженности противостоящих военных группировок государств, шаги в сторону разоружения. Такой путь находит все большее понимание и в народных массах, и среди дальновидных государственных деятелей.

Идея мирного сосуществования государств с различными социальными системами призвана покоиться на очень простых и общих принципах. Эти принципы должны быть сформулированы столь ясно и категорически, чтобы исключить различия в их толковании. Одним из таких принципов является, например, принцип нерушимости существующих государственных границ. Если будет достигнуто реальное согласие, которое исключит войну как средство решения межгосударственных споров, то многое упростится в международных отношениях.

На Западе даются различные толкования содержания понятия "смягчение напряженности" и тех межгосударственных условий, в которых должен развиваться этот процесс. Иногда эти условия формулируются настолько нереалистично, что

возвращают нас к худшим дням эпохи "холодной войны" и политики "с позиции силы". Но если отбросить в сторону неразумное политиканство, то есть один и только один путь к достижению реальных результатов в этом фундаментальном процессе. В известном смысле он связан с умением увидеть главное и пренебречь второстепенным.

А для всех нас самое главное – сделать невозможным возникновение войн на Земле и третьей мировой войны в особенности.

Есть многие обстоятельства, многие точки зрения на различные проблемы, которые разделяют Запад и Восток и затрудняют процесс смягчения напряженности и установления доверия. Мы должны научиться количественно оценивать все эти обстоятельства и уметь пренебречь малыми величинами по сравнению с той большой величиной, которой оценивается главная проблема современности – сохранение мира на Земле. Ученые, работающие в области точных наук, – математики, физики – знают, что только на пути пренебрежения малыми величинами по сравнению с большой величиной часто отыскивается единственная возможность получить положительный результат.

В отличие от теории математических уравнений в общественной жизни иногда психологически и политически может быть нелегко пренебречь и относительно "малой величиной", особенно если связанная с этим обстоятельством ситуация имеет престижную окраску, вытекает, в частности, из различно понимаемых правовых и демократических институтов.

Максимально, к чему мы, ученые, здесь можем стремиться, ведя параллельные диалоги, – это содействовать основному диалогу между Западом и Востоком, терпеливо выяснять различия в точках зрения и отсекать то наносное, что связано с недостаточной информацией или объясняется просто искажениями.

Ведь речь идет о сосуществовании, а не об унификации различных социальных систем. В процессе широкого развития деловых, экономических связей неизбежно сглаживаются углы, происходит рационализация межгосударственных отношений в области техники, науки, культуры, конечно, в пределах, обусловленных своеобразием социальных систем.

Сознание ответственности ученых перед обществом привело к возникновению Пагуошского[3] движения ученых. Естественно, что опасности атомной войны, проблемы сохранения мира на Земле занимали и занимают основное место и время в повестках дня симпозиумов, организуемых в рамках этого движения. Следует отметить: многое, что волновало в предшествующие годы участников Пагуошского движения, стало в дальнейшем предметом официальных межгосударственных обсуждений.

Ученые обращают внимание и на другие возникающие в наше время опасности для будущего человечества: загрязнение окружающей среды, энергетический кризис и др. Эти угрозы для будущего уже зримо проявляются в настоящем и также взывают к ответственности ученых.

---

[3] Свое наименование оно получило от маленького рыбацкого поселка Пагуош (Канада), где больше 20 лет назад собрались авторитетные ученые многих стран, обеспокоенные угрозой истребления человечества в ядерном конфликте.

Есть и другого рода ответственность ученого перед обществом и перед самой наукой. Это ответственность за правильность научного прогноза: на какие научные направления в первую очередь целесообразно затрачивать материальные ресурсы общества? Быстрый прогресс техники создает новые возможности для развития науки, которых в такой мере ранее не было. И об этой новой ситуации следует говорить особо.

Возникло своеобразное противоречие между возможностями дальнейшего развития наук, способствующих техническому прогрессу, и теми ограничениями этого развития, которые в конечном итоге связаны с бессмысленным и опасным отвлечением огромных средств и ресурсов на гонку вооружений.

Общество должно знать, чего могла бы достичь наука, получи она в свое распоряжение эти средства и ресурсы, и что этому препятствует. Прямой долг ученых – информировать общество о сложившейся здесь ситуации.

Невозможно не верить в лучшее будущее человечества. И одна из светлых черт человеческой истории – это накопление духовных ценностей, не всегда прямо связанных с практическими проблемами.

Будем надеяться, что накопление духовных ценностей станет играть все большую роль в будущей истории человечества. С самого начала существования человека как разумного существа его интеллектуальная деятельность всегда имела два аспекта – аспект прагматический, направленный на использование достигнутых знаний в практической деятельности, и аспект, скажем условно, чисто познавательный. Этот второй аспект интеллектуальной деятельности, заложенный в самой природе человека, – одна из потребностей чувствующего и мыслящего существа, которая так же естественна и необходима, как и другие потребности живого организма. Эта потребность влечет нас к исследованию как глубоких тайн микромира, так и к исследованию ультрамакроскопических глубин Вселенной, к попытке создать целостную картину мироздания, воспроизвести в художественной форме окружающий нас мир и различные моменты человеческой деятельности, осмыслить законы развития общества.

Хотелось бы особо подчеркнуть, что в настоящее время в так называемых естественных науках возникла ситуация, подобной которой не было в прошлом или, может быть, она не проявлялась в столь острой форме. Речь идет о том, что имманентное развитие ряда наук: астрономии, астрофизики, физики элементарных частиц, физики высоких энергий, биологии, с одной стороны, и достижения научно-технического прогресса – с другой, привели к такому рубежу, когда индустриализация этих наук даст возможность подойти к решению многих назревших фундаментальных проблем. Так, создание современных астрономических и астрофизических средств наблюдения поистине обещает расцвет этих отраслей науки. За последние годы наши знания обогатились недавно открытыми небесными телами принципиально нового свойства. Речь идет о таких объектах, как квазары, возможно, нейтронные звезды и черные дыры. Предмет астрономии и астрофизики быстро обогащается и удивительно разнообразится, но развитие этой области требует адекватных средств наблюдений. И что важно – достигнутый технический прогресс способен обеспечить необходимый науке инструментарий: это современные радио- и оптические телескопы, космические лаборатории и т.д.

Развитие наших представлений о материи, в частности при дальнейшем проникновении в физику микромира, несомненно, позволит выявить кардинально новые закономерности. Однако хочется повторить здесь ту мысль, что наши представления о материи в известном смысле пока не очень далеко ушли от представлений древних греков. Действительно, если древние греки считали основными сущностями четыре стихии: землю, воздух, воду и огонь, не понимая, как мы бы теперь сказали, фундаментальных свойств этих стихий, то современная физика пытается раскрыть все содержание реального мира как сложное взаимодействие различных "полей". Это те же четыре стихии древних: сильные поля, электромагнитные, слабые, гравитационные; и так же, как древние, мы пока далеки от понимания фундаментальных свойств этих стихий XX столетия.

Мы давно привыкли к мысли о единстве природы, о том, что Вселенная построена без "архитектурных излишеств". Но пока мы не можем понять это единство четырех "стихий", их внутреннюю связь. И вот теперь мы приходим к выводу, что многое станет ясным в этом единстве, если физики будут иметь в своем распоряжении ускоритель частиц следующего поколения, пока существующий лишь в мечтах, – ускоритель, в котором реализовалась бы в системе центра тяжести энергия сталкивающихся частиц порядка 300 ГэВ. Современный технический прогресс способен эту мечту превратить в реальность.

Точно так же появилась возможность создать совершенные средства для биологических исследований, для изучения деятельности и структуры живой материи во всех ее аспектах.

Во многих областях науки сложилось понимание тех возможностей, которые несет с собой индустриализация науки на основе возникшего технического прогресса. Но осуществление этой индустриализации требует больших средств... А средства эти, повторяю, тратятся на бессмысленную и опасную гонку вооружений.

Так возникло или значительно углубилось еще одно противоречие – между имманентным развитием науки и гонкой вооружений.

Советским Союзом проявлена инициатива, продиктованная заботой о мирном будущем человечества, – имеется в виду предложение о сокращении военных бюджетов, прежде всего великих держав, на 10% и использование части высвобождающихся средств для помощи развивающимся странам.

Мир приветствовал бы дальнейшую реализацию этой инициативы. Каким одобрением встретили бы ученые всего мира решение правительств уменьшить хотя бы на 1–2% военные бюджеты и переключить эти средства на развитие науки, искусства, образования в дополнение к тем средствам, которые ассигнуются на развитие этих областей по существующим планам. Речь идет о той науке, которая не способствует увеличению военных потенциалов. О той науке, которая способна избавить человечество от рака и других болезней, от нехватки энергии и ресурсов, покончить с голодом на Земле и открыть для всех народов путь к подлинному процветанию.

НАУЧИЛИСЬ ЛИ МЫ МЫСЛИТЬ ПО-НОВОМУ?
(к двадцатилетию Пагуошского движения)*

Научиться мыслить по-новому, чтобы сохранить жизнь на нашей планете, – это лейтмотив обращения к человечеству в историческом Манифесте Рассела–Эйнштейна. В канадской рыбачьей деревушке Пагуош, где 20 лет назад собрались авторитетнейшие ученые всех стран, прозвучали эти слова Манифеста.

"Мы должны научиться мысль по-новому, мы должны научиться спрашивать себя не о том, какие шаги надо предпринимать для достижения военной победы тем лагерем, к которому мы принадлежим, *ибо таких шагов больше не существует*, мы должны задавать себе другой вопрос: какие шаги можно предпринять для предупреждения военного конфликта, исход которого будет катастрофическим для всех его участников" (здесь и далее курсив мой. – *М.М.*).

Научились ли мы мыслить по-новому?

"В данном случае мы выступаем не как представители того или иного народа, континента и вероучения, а как биологические существа, как представители рода человеческого, дальнейшее существование которого находится под сомнением".

Научились ли мы мыслить по-новому как представители рода человеческого?

"Все мы пристрастны в своих чувствах. Однако как люди мы должны помнить о том, что разногласия между Востоком и Западом должны решаться таким образом, чтобы дать возможное удовлетворение всем: коммунистам или антикоммунистам, азиатам, европейцам и американцам, белым и черным. *Эти разногласия не должны решаться силой оружия. Мы хотим, чтобы это поняли как на Востоке, так и на Западе*".

"*Эти разногласия не должны решаться силой оружия*". Понял ли мир это?

"Перед нами лежит путь непрерывного прогресса, счастья, знания и мудрости. Изберем ли мы вместо этого гибель только потому, *что не можем забыть своих ссор*? Мы обращаемся ко всем как люди к людям: помните о том, что вы принадлежите к роду человеческому, и *забудьте обо всем остальном*. Если вы сможете сделать это, перед вами открыт путь в новый рай; если вы этого не сделаете, перед вами опасность всеобщей гибели".

Смогли ли мы сделать это? Забываем ли мы о "многом остальном" в наших усилиях решения основной задачи: сделать невозможной третью мировую войну?

Научились ли мы мыслить по-новому?

Анализ международных событий последнего десятилетия показывает, что там, где мы мыслим по-новому "как представители рода человеческого", нам сопутствует успех, но там, где мы оказались не в силах мыслить по-новому, мы терпели поражение. Если иметь в виду решение основной задачи – сделать войны невозможными, то здесь, к сожалению, мы должны ответить на вопрос отрицательно.

---

* Размышления о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 198–203.

К сожалению, в мире еще представляют большую силу люди, которые не только не научились мыслить по-новому, но, как иногда кажется, разучились мыслить вообще.

Вопреки всякой логике продолжается и даже ускоряется гонка вооружений!

Было бы неверно утверждать, что за эти двадцать лет не сделано реальных шагов по "дороге к миру". Такое утверждение своим претенциозным пессимизмом закрывало бы нам путь в разумное будущее.

Немного истории.

Разве мы забыли, что интенсификация испытаний ядерных взрывов в атмосфере, космосе, океане угрожала жизни на планете еще до возможного возникновения ядерного конфликта?

Разве мы забыли Декларацию 9235 ученых, врученную Лайнусом Полингом Генеральному секретарю ООН 13 января 1958 г., о грозных опасностях радиационного заражения как следствия атомных испытаний?

И вот в результате многосторонних соглашений эта грозная опасность для всего живого в существенной части устранена[1].

Мы упомянули только одно позитивное следствие международных переговоров, серьезным образом меняющих международный климат. Здесь разум побеждает.

Заключен ряд полезных соглашений, оказывающих определенное сдерживающее влияние на гонку вооружений, а также целый комплекс двусторонних и многосторонних договоров и соглашений, затрагивающих политические, правовые, научно-технические и культурные сферы взаимоотношений между государствами и сделавших структуру международных отношений более прочной.

В результате беспрецедентного в мировой истории по своей представительности Хельсинкского форума руководителей 35 стран принят заключительный акт, формулирующий согласованную оценку многих аспектов нашего настоящего и важнейших задач ближайшего будущего и зафиксировавший комплекс рекомендаций по расширению и активизации сотрудничества между современными государствами в области торговли, промышленного производства, науки и техники, охраны окружающей среды и в других сферах экономической деятельности, а также в гуманитарных вопросах, таких, как обмен в области культуры, образования, информации, контактов между людьми. Здесь разум побеждает. Мы видим, что есть конкретные достижения на пути к миру.

При перечислении новых явлений, которые возникли в мире за 20 лет, прошедших со времени возникновения Пагуошского движения, следует указать на бурный процесс деколонизации, в результате чего на международной арене появился ряд новых государств, а в связи с этим возникли новые проблемы, которых не было прежде и которые требуют к себе внимания. Все большую международную роль начинает играть "третий" мир – мир неприсоединившихся государств. Но самое главное – то, что в последние годы возникло такое новое явление, к которому, в сущности, стремились авторы Манифеста, но они не были

[1] Все ядерные державы, за исключением Китая, прекратили ядерные испытания в атмосфере, космосе, океане.

свидетелями возможности его реализации. Это явление – разрядка международной напряженности.

Время появления Манифеста было временем "холодной войны", которая делала невозможным прямой диалог между противостоящими сторонами. И одна из главных задач на дороге к миру [2], которая стояла перед авторами Манифеста, – это сделать возможным начало диалога между Западом и Востоком. В то время, казалось, осуществить начало такого прямого диалога невозможно без посредничества третьих стран, например Индии.

Процесс разрядки позволил начать прямой диалог между Западом и Востоком, другими словами, совершить то, о чем только мечталось инициаторам Манифеста. За прошедшие 20 лет новым явилось и то, что проблема разоружения стала тем не менее конкретным объектом международных переговоров. Мы можем указать реальные достижения на пути к миру, которые возникли в результате победы разума, где мы оказались в состоянии мыслить по-новому.

Разве в соглашениях о прекращении ядерных испытаний в средах мы (мы – в широком смысле этого слова) не вели себя как представители рода человеческого? Разве в угоду тенденциозному пессимизму в оценке имеющихся международных соглашений следует забывать об их реальной исторической роли?[2]

Рядом международных усилий удалось отодвинуть опасность ядерной войны[3]. Здесь разум побеждает.

Отмечая и высоко оценивая эти несомненно положительные явления, нельзя не видеть и того, что гонка вооружений не только не прекращается, но в высшей степени усиливается. По данным Стокгольмского международного института исследований проблем мира, в гонке вооружений ежегодно сжигается около 300 млрд долл.

Появились новые конкретные черты этого страшного процесса, которых не знали инициаторы Пагуошского движения. В связи с этим возникают и новые задачи движения ученых.

Научно-технический прогресс, как джинн, выпущенный из бутылки, в своем имманентном прогрессирующем развитии в области возможных применений в военных целях (как показывают женевские переговоры о сокращении наступательного стратегического оружия) опережает возможные конкретные политические решения, ведет к длительным отсрочкам жизненно необходимых мирных соглашений.

Во-первых, судя по зарубежным печатным источникам, огромного успеха достигло качественное совершенствование не только ядерного, но и "обычного" вооружения, которое становится все более и более "необычным" (лазерные, ин-

---

[2] "Тот факт, что Советский Союз хочет сейчас отказаться от продолжения испытаний, – писал в то время известный гуманист Швейцер, – имеет большое значение. И если бы Великобритания и Соединенные Штаты могли сейчас прийти к такому же разумному решению... человечество освободилось бы от страха". Разве не поучительно вспомнить историю освобождения от страха, чтобы полнее ощутить важность достигаемых соглашений?

[3] Как следует из материалов ООН (The United Nations and Disarmement, 1970–1975), здесь автором этих предложений в основном является СССР.

фракрасные наводки снарядов, скорострельность пушек до 1000 снарядов в минуту и т.д.).

Во-вторых, появилась опасность создания новых видов оружия массового уничтожения.

В-третьих, возникают новые проблемы в связи с распространением ядерного оружия и значительным упрощением его производства.

В-четвертых, увеличивается возможность случайного, несанкционированного возникновения мировой войны: процесс совершенствования в средствах автоматизации пусковых механизмов современной военной техники делает возможным за секунды полное развитие мировой трагедии. Новая и грозная опасность заключается и в том, что причиной трагедии может явиться не только безответственность государственных деятелей, но и злой умысел гангстерских групп и даже отдельных лиц или просто психическое расстройство людей, стоящих "у пульта". Людей, стоящих "у пульта", становится все больше и больше, так как автономные системы ядерного оружия расположены на соответствующих базах, практически распределенных по всей планете.

Ничего подобного не было в первые годы возникновения этого оружия.

Спрашивается, какова в этих условиях сфера деятельности для Пагуошского движения, если его первоначальная задача была как раз инициировать соответствующие межгосударственные переговоры и соглашения, которые в настоящее время идут на государственных уровнях, часто с привлечением квалифицированных специалистов-ученых?

Безусловно, есть много частных из перечисленных проблем, где ученые могут сказать свое, еще не сказанное никем слово, но главная задача в решении глобальных проблем человечества – путь соглашений, которые отвечают интересам всего человечества, обеспечивают условия для прочного мира и социального прогресса всех народов нашей планеты, соглашений, в которых партнеры выступают как представители рода человеческого, которому угрожает смертельная опасность. И "забыть все остальное".

Анализ многих наших неудач на дорогах к миру показывает, что они чаще всего обязаны "всему остальному". Мы оказались не в состоянии "забыть все остальное". "Забыть все остальное", по идее Манифеста, – это не призыв к какой-то конвергенции существующих различий в идеологиях, в социальных системах.

Человечество, если оно сумеет избежать угрожающего ему уничтожения, будет иметь свою историю, которая развивается согласно своим закономерностям. "Забыть все остальное" – это не значит предать забвению вообще идеологические, социальные разногласия, существующие в мире. Величайшие умы в истории нашей науки, авторы Манифеста, призывают "забыть все остальное" при переговорах и соглашениях, задачей которых является избежать гибели человечества, избежать угрозы, которая становится со временем все более и более реальной.

"Все остальное" не может быть забыто, и на параллельных курсах нашего основного движения по дороге к миру оно не может не обсуждаться, но оно не должно мешать движению по главной дороге к миру.

Разве соглашению (следует подчеркнуть – историческому соглашению) о прекращении ядерных испытаний в средах логически мешало наличие в мире различий в социальных системах и идеологиях? То есть "все остальное"?

"Все остальное" неизбежно сопровождает нас по пути к миру, но это движение должно быть движением, по, так сказать, параллельным путям. Оно не должно затруднять генерального движения к миру по тому пути, на котором расставлены дорожные знаки: "*здесь идут представители рода человеческого*".

Задача Пагуошского движения – своей активностью содействовать практической реализации благородных идей мира, объединить усилия людей доброй воли, направить силы ученых на то, чтобы ликвидировать угрозу мировой термоядерной катастрофы. За минувшие 20 лет в этом отношении сделано немало. Пагуошское движение ученых приобрело большой международный авторитет. Следует сказать, что, к сожалению, далеко не все ученые полностью восприняли идеи Манифеста.

Организационная активность ученых в истекшем десятилетии чаще возникала на рокадных дорогах к миру. За это время мало было крупных инициатив ученых, в частности Пагуошского движения (например, обращения к ООН, к главам государств, к мировому общественному мнению), которые были бы проникнуты духом Манифеста, где звучал бы голос "представителей рода человеческого".

Итак, основная задача – вернуть Пагуошскому движению тот характер *всеобщности и единства*, которым определяется основное содержание Манифеста, тот характер, который делает значительным существование этого движения и придает ему исключительную самобытность.

МАНИФЕСТ И ГОНКА ВООРУЖЕНИЙ

Одно из основных исходных положений Манифеста можно кратко сформулировать в следующих словах: развязавший третью мировую войну *не может быть победителем.*

Поэтому "...мы должны спрашивать не о том, какие шаги надо предпринимать для достижения военной победы тем лагерем, к которому мы принадлежим, *ибо таких шагов больше не существует*".

Спрашивается, не устарел ли этот тезис к настоящему времени? И является ли этот тезис Манифеста в настоящее время общепринятым? Но если тезис принимается, то какой смысл в реально происходящем процессе беспрецедентной гонки вооружений?

Отвлекаясь от социологических, экономических и некоторых других аспектов гонки вооружений, целесообразно задать вопрос: каковы побудительные причины чисто военного характера гонки вооружений, какие чисто военные соображения могут лежать в основе этого процесса?

По-видимому, причина одна: военные стратеги надеются получить чисто военное преимущество, которое может обещать военно-технический прогресс.

Но научно-технический прогресс безлик – он одинаково служит любой противостоящей стороне. И эти стороны, не секрет, внимательно следят за "успехами" друг друга.

А материальные ресурсы и научно-технические возможности сторон таковы, что только что намечающиеся военные преимущества быстро исчезают. Таким образом, теряется и чисто военный смысл гонки вооружений.

1. Стратегия первого удара. Но все-таки существуют идеи чисто военных аспектов в достижении преимущества в возможном военном столкновении. Речь идет о так называемой стратегии первого удара.

Один из величайших соблазнов военной стратегии – это возможность добиться решающего успеха с помощью "блицкрига". Напрашивается вывод, что этот соблазн перестает быть соблазном в условиях, когда устанавливается такой "верхний" потолок вооруженности, при котором, говоря шахматным языком, невозможна такая ситуация, когда "белые начинают и выигрывают".

Другими словами, на пути к полному разоружению, видимо, существует такой уровень вооруженности, который не позволяет осуществление идей блицкрига. Может быть, следует инициировать обсуждение этого вопроса как определенного этапа в процессе всеобщего и полного разоружения, этапа, который имеет такую конкретную характеристику. Невозможность блицкрига, перспективы затяжной войны требуют других условий для развязывания военного конфликта, они требуют глобальной подготовки к войне всей страны или группы стран.

2. Возможности глобальной подготовки к войне. Перспективы длительной, затяжной войны требуют не только высокой технической подготовки состояния вооруженности, но и создания психологического, если так можно сказать, климата "военного энтузиазма", или, попросту говоря, военной истерии.

Такие зигзаги в нашей истории имели место, и от них не застраховано и наше будущее, если процесс гонки вооружений будет продолжаться и далее без шансов на успех военной разрядки.

"Я подавлен, – писал в своем швейцарском дневнике Р. Роллан перед первой мировой войной. – Я хотел бы умереть. Ужасно жить среди этого обезумевшего человечества и видеть банкротство цивилизации, сознавая свое бессилие. Самая большая катастрофа в мировой истории на протяжении веков – крах наших самых светлых надежд на братство народов".

В то время Р. Роллан не мог предполагать, что еще бóльшая катастрофа впереди, что она произойдет через два десятилетия.

История свидетельствует, что такая организация массового безумия возможна, и имя этому безумию – национализм, великодержавный шовинизм.

Кажется, Швейцер задавал риторический вопрос: что такое национализм? И отвечал: "Это низменный патриотизм, доведенный до потери всякого смысла и имеющий такое отношение к его благородной и здравой разновидности, какое навязчивая идея, овладевшая идиотом, имеет к нормальным человеческим убеждениям".

Примеры прошлого предупреждают человечество. Человечество должно бдительно следить даже за слабыми проявлениями этой болезни. Национализм, как

показывает история, – болезнь эпидемическая. В соответствующих условиях эпидемии возникают и развиваются с ужасающей быстротой. Идея национализма, великодержавного шовинизма – это антитезис основному положению Манифеста, требующему рассматривать проблему сохранения жизни на Земле с точки зрения единых интересов рода человеческого.

Сейчас кажется невероятным будущее истории в повторении такого бедствия, но, к сожалению, такие исторические зигзаги возможны и, как учит опыт прошлого, *непредсказуемы*.

Мир недавно отмечал тридцатилетие с момента окончания второй мировой войны. Другими словами, часть населения Земли в возрасте 35–40 лет, в памяти которого нет или почти не осталось переживаний кошмарных событий 1939–1945 годов, начинает доминировать на нашей планете. Это население если еще не полностью определяет, то в ближайшие годы будет определять ее политический климат. Поэтому об истории последней войны, об условиях ее возникновения, о возможном психологическом климате, сопровождающем массовые военные истерии, следует вспоминать и помнить. Уроки последней войны очень поучительны.

3. Пагуошское движение в опасности "военного пацифизма". С изобретением пулемета некоторые считали, что войны становятся невозможными, абсурдными, ибо стала велика угроза истребительного оружия массового уничтожения. Но угроза эта не помешала возникновению войн.

Нобель, изобретатель динамита, полагал, что разрушительная сила нового оружия делает невозможным возникновение войны. Но войны возникали, несмотря на рост, если можно так сказать, "коэффициента массового уничтожения" в реально протекавших военных конфликтах.

С появлением необычного, ядерного оружия, с угрозой глобального уничтожения жизни на Земле возникло понимание, что применение этого оружия равносильно самоуничтожению. Казалось, необычный характер самого оружия содержит сам в себе невозможность его применения. Но в настоящее время наметился страшный процесс своеобразного "улучшения" этого вида оружия.

Речь идет о совершенствовании точности попадания в данную цель атомного снаряда, выпущенного из любой точки земного шара. Это усовершенствование ведет к соблазну утверждать, что атомное оружие может быть направлено только на разрушение военных объектов, не нанося вред гражданским. Таким образом, из наиболее бесчеловечного оружия оно как бы становится наиболее "гуманным" оружием, если позволительно употреблять столь неподходящую в этих обстоятельствах терминологию. Известные идеи миниатюризации ядерного оружия и создания так называемой "чистой бомбы" спешат дополнить картину человеческого "благополучия" в будущей войне. "Чистота" ее заключается в том, что она уничтожает все живое и сохраняет все мертвое. Это коварная попытка выпустить ядерного джинна из бутылки и пустить по миру с ложным паспортом тактического оружия. Как будто действия ядерного джинна в условиях развертывания тотальной войны можно ограничить заклинаниями. Обращает на себя внимание, что нейтронная бомба как тактическое оружие по многим своим боевым (и этическим) параметрам вполне аналогична химическому оружию. Допущение нейтронной бомбы

фактически означает согласие с использованием химического оружия. Здесь логика неумолима.

Долг ученых – предупредить мир об этой маскировке бога войны под пацифиста и предупредить соблазн военных стратегов развязать превентивную войну в "гуманистических" целях.

История войн свидетельствует, что войны предыдущего и текущего столетий с каждым разом принимают все более и более жестокие формы и становятся глобальными.

Давно исчезла "джентльменская" практика прошлого – объявление войны, теперь войны начинаются вероломным глобальным нападением.

И опять звучат предостерегающие слова Манифеста: нельзя надеяться, "*что можно позволить вести войну при условии, что современное оружие будет запрещено*".

Задача ученых – убедить государственных деятелей, что появление неизвестного оружия массового уничтожения возможно. История войн показывает, что в процессе войн оно всегда появлялось и появляется в заранее непредсказуемой форме (газы и танки в первой мировой войне, ядерное оружие в последней).

4. Распространение ядерного оружия и предупреждение несанкционированного случайного возникновения ядерной войны. Инициаторы Пагуошского манифеста также не знали этой проблемы, грозная опасность которой непрерывно возрастает. Джинн выпущен из бутылки, и нам остается искать различные формы, ограничивающие его распространение и предупреждающие его агрессивность. Опасность заключается и в том, что накопление плутония может происходить в мирных целях.

Перед нами опять глобальная проблема, которая должна решаться методологией, рекомендуемой Манифестом.

Ситуация такова, что высокоразвитые страны, поставляющие реакторы и топливо в страны покупателей, конечно, в первую очередь должны в своих условиях поставки быть гарантами ядерной безопасности. Но не целесообразно ли подумать над организацией и верховного, глобального надзора, например, в рамках МАГАТЭ с большими контрольными полномочиями, дающими возможность брать на учет и контролировать, в частности, запасы плутония.

Гонка вооружения, распространение ядерного оружия, упрощение производства этого оружия всемерно увеличивают опасности случайного несанкционированного возникновения мирового пожара. О предотвращении разной природы случайного несанкционированного возникновения ядерной войны существует несколько межгосударственных соглашений. Общественное мнение, естественно, обеспокоено, достаточно ли эти соглашения предохраняют от возможностей случайного появления ядерной ракеты над территорией какой-либо ядерной державы. Нельзя ли считать целесообразным обсуждение в научной среде всех, надо сказать, многочисленных возможностей для подобных несанкционированных ядерных прецедентов? Это также одна из глобальных проблем, которая может решаться методологией, рекомендуемой Манифестом.

ПАГУОШСКОЕ ДВИЖЕНИЕ И ПРОБЛЕМА ВСЕОБЩЕГО И ПОЛНОГО РАЗОРУЖЕНИЯ

Пока народам и государствам фактически предоставляется "сосуществование" под древним лозунгом: "Хочешь мира – готовься к войне" ("Si vis pacem, para bellum"). В его современном звучании слышится попытка обосновать реализацию лозунга даже как рецепта, обеспечивающего мир на Земле: "Сдерживание путем устрашения".

И вот межгосударственные международные отношения в цивилизованном мире конца XX в. должны регулироваться поведением, скопированным с "отношений" живых существ, лишенных человеческого разума. Более того, этот звериный принцип при его реализации фактически заменяется лозунгом "Si vis pacem, para bellum", который логически даже не связан с доктриной "сдерживания путем взаимного устрашения". Ведь "сдерживание путем взаимного устрашения" возможно на любом уровне сбалансированно сокращенной вооруженности. Почему же, если хочешь мира, надо готовиться к войне? Почему, принимая этот тезис, надо усиливать гонку вооружений?

В основе концепции устрашения лежит наследие "холодной войны", которая инициирует поиски все более и более усиленных гарантий безопасности для одной из противостоящих сторон. Отсюда и нестабильность уровня вооруженности в концепции устрашения[4].

Из предыдущего анализа следует, что нам необходима формулировка нового лозунга, под знаменем которого можно реально прекратить военное соревнование, осуществить желаемое сокращение уровня вооруженности и в конце концов реализовать идею всеобщего и полного разоружения.

В новых условиях разрядки напряженности естественным и однозначным образом эта задача формулируется как задача найти пути к сокращению вооружения без ущерба для кого-либо, "при строгом соблюдении принципа равенства и одинаковой безопасности сторон" [1].

Итак, от идеологии "сдерживания путем взаимного (?) устрашения" к "принципу равной безопасности". Видимо, имеется лозунг, который может заменить лозунг "сдерживание путем взаимного устрашения", логическая бессмысленность которого давно очевидна[5].

Надо надеяться, что формулировка нового лозунга явится поворотным пунктом истории, поворотным пунктом величайшего значения.

---

[4] Выше мы неосторожно формулировали эту концепцию как концепцию сдерживания путем *взаимного* устрашения. Слово "взаимного" – это привесок, украшательство лозунга. В содержании приводимой реальной концепции страха содержится лишь одно: «Угрожать будем "мы", а "они" или "вы" должны быть угрожаемыми». Даже слово "взаимное" в действительности нежелательно в этой концепции.

[5] Бертран Рассел в своей статье "Дорога к миру" [2] писал: "В сущности, политики запрещают термоядерное оружие только в качестве оружия устрашения: иными словами, предполагается, что оно полезно, если только его не применять. Но если его единственное назначение – предупреждать войны, как мы говорили, то было бы проще и гораздо экономичнее прекратить вооружаться и признать невозможность войны".

Необходимо, чтобы взаимное недоверие, которое питает гонка вооружения, сменилась реальным сознанием безопасности, базирующимся на реальных, приемлемых для всех сторон материальных, технических и других аспектах. Как не просто это сделать! Но другой альтернативы у нас нет. Надо готовиться к этому и исследовать настойчиво все трудности и возможности этого лозунга.

Обсуждение проблемы всеобщего и полного разоружения возникало почти на всех сессиях ООН последнего пятилетия. И в одном из решений – Резолюция 2825С (XXVI) – содержалось прямое обращение к ученому миру. В пункте "с" этой Резолюции сказано: "Провозглашается, что прогресс всеобщего и полного разоружения был бы успешнее, если бы университеты и академические учреждения всех стран стали изучать проблемы гонки вооружений".

Пагуошское движение не откликнулось на это обращение ООН[6]. Необходимо исправить это упущение. Необходимо одной из основных задач Пагуошского движения считать всесторонние исследования многочисленных и сложнейших проблем, связанных с идеей всеобщего и полного разоружения и его возможных этапов. Необходимы и соответствующие организационные формы планирования этой деятельности. Одно из конкретных мероприятий в этом направлении было выдвинуто на Пагуошском совещании в г. Киото: организовать в национальных Пагуошских группах специальные рабочие группы по исследованию проблем всеобщего и полного разоружения и их кооперацию.

Если бы Пагуошское движение ученых могло в какой-то мере делами ответить на обращение ООН, одно это оправдало бы значимость Пагуошского движения и облегчило бы задачи созыва международной конференции по разоружению.

Международная конференция по разоружению по меньшей мере могла бы привлечь внимание широкой, в частности научной, общественности ко многим аспектам разоружения и инициировать их серьезное изучение. Судя по повесткам дня ООН, вопрос о конференции или ее начальной форме будет положительно решен, и нашему движению надо не оказаться в хвосте событий.

И в научной среде существует известный скепсис по отношению к проблемам всеобщего и полного разоружения как проблемам несегодняшнего дня. Казалось бы, ученым, а не политикам больше свойственно заглядывать в будущее. Именно среди научной общественности естественно обсуждение проблем будущего. Когда эти проблемы становятся проблемами настоящего, как правило, только при этих условиях они делаются объектом внимания и действия государственных деятелей.

ПАГУОШСКОЕ ДВИЖЕНИЕ И ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПЛАНЕТЫ

1. Построение нового экономического порядка[7] и наука. В условиях разрядки естественно возникает необходимость и в построении нового экономического

---

[6] Точнее, никаких новых слов не сказано в ответ на это обращение, в ответ не последовали какие-либо новые конкретные конструктивные предложения.

[7] Термином "новый экономический порядок" здесь обозначаются те новые экономические отношения, которые естественным образом должны сложиться к *взаимной выгоде* в мирном сосуществовании государств с различными социальными укладами.

порядка. Это глобальная проблема организации мировой экономики, и она в принципе допускает приемлемое для всех без исключения стран решение. Здесь также партнеры нового экономического порядка имеют возможность выступать "как представители рода человеческого".

Бурный процесс деколонизации приводит к появлению на исторической сцене большого числа новых государств. Возникновение группы государств третьего мира со своими проблемами требует решения многих других проблем, с которыми мы ранее не встречались.

Военная разрядка освободит огромные материальные ресурсы, в которых так нуждаются народы.

Возникнут колоссальные возможности улучшения условий жизни на нашей Земле. При рациональной глобальной организации нового экономического порядка во многих странах менее острой станет и проблема безработицы. В условиях нового экономического порядка еще более возрастает роль науки. Наука давно стала производительной силой и областью, наиболее выгодной для вложения капитала. Мы, ученые, можем со всей ответственностью заявить народу, что наука может обеспечить полную занятость. Мы призываем людей мира к созданию нового экономического порядка на планете, который превратит еще XX век в век процветания, в век Мира и Науки.

2. Проблема окружающей среды. Стало общепризнанным фактом, что цивилизованное общество пока интенсивно "работает" над превращением нашей планеты, где прежде самой природой были созданы условия для возникновения жизни, в пустыню, уничтожающую жизнь.

Все понимают, что пора остановить этот разрушительный процесс, но мы не спешим с решающими начинаниями. Проблема окружающей среды как глобальная проблема для всего мира допускает для своего решения ту же методологию Манифеста.

3. К таким же глобальным проблемам относится энергетическая проблема.

4. В настоящее время, когда почти миллиард людей страдает от недоедания, миллиарды долларов, которые тратятся на вооружение, могли бы быть направлены на то, чтобы помочь тем, кто голодает.

5. Скорейшая ликвидация разрыва в экономическом и культурном уровне промышленно развитых и развивающихся стран, видимо, естественно облегчит и решение проблемы демографического взрыва. Известно, что увеличение населения промышленно развитых стран идет значительно медленнее, чем в странах развивающихся.

Мы приходим к заключению, что многие фундаментальные, глобальные проблемы планеты существенно связаны с необходимостью решения основной задачи – прекращения гонки вооружений и последующего разоружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Брежнев Л.И.* Советские профсоюзы – влиятельная сила нашего общества. М., 1977. С. 22.

2. *Russell B.* The road to peace: The bomb (challenge and answer). L., 1955.

ЭЙНШТЕЙН О МИРЕ*

Он был не только великим ученым, но и великим человеком.

Бертран Рассел

Иногда сравнивают Эйнштейна с выдающимися деятелями науки прошлых времен. Но у нас нет соответствующих единиц измерения, критериев величия научного гения, выходящего, казалось бы, за рамки возможного. Нет и точной меры чисто человеческого величия. А величие Эйнштейна как-то удивительно естественно совместилось с простотой обыкновенного человека.

Эйнштейн – не только великое прошлое. Он был и остается нашим современником.

Многое, о чем думал и говорил Эйнштейн, имеет непосредственное отношение к нашему настоящему и будущему. Настоящему и будущему не только науки, но и общества, всей нашей цивилизации. И кардинальный вопрос здесь заключается в одном: имеет ли вообще человечество будущее, или же оно уничтожит себя в грядущем мировом ядерном конфликте?

Научное наследие Эйнштейна столь велико, что, упоминая о нем, мы часто опускаем имя автора: так слитно оно с его делами. Знаменитый закон, который либо принесет счастливое будущее человечеству, либо приведет его к уничтожению, даже не носил имени Эйнштейна. Мы просто говорим о соотношении между массой и энергией. За последние десятилетия в темпе "allegro" раскрывается и значение сделанного Эйнштейном в общей теории относительности (черные дыры, нейтронные звезды и т.д.). Много неожиданного раскроют, видимо, ближайшие годы в содержании этой теории. Все еще находясь в плену привычных представлений и математического аппарата линейной квантовой теории поля, мы пока с трудом различаем то большое, новое, которое несет дальнейшее развитие квантовой нелинейной теории гравитационного поля. Можно надеяться, что будущая квантовая теория гравитации приведет в порядок наши представления о развивающейся Вселенной и о сложных закономерностях микромира.

Но Эйнштейна интересовала не только структура Вселенной, ее прошлое и будущее, не только материя, состоящая из элементарных частиц, где все происходит по существующим в природе объективным законам. Не меньшую заинтересованность проявил он и ко Вселенной, состоящей из "живых атомов", – к судьбам неустроенного человеческого общества нашей планеты с его трудными проблемами.

Эйнштейн стремился осмыслить происходящее в мире. Не столько для того, чтобы понять те или иные пороки общества, сколько попытаться найти "рецепт": как избежать в будущем повторения военных катастроф. Это практически основной вопрос, над которым он размышлял последние десятилетия своей жизни.

---

* Наука и ответственность ученых. М.: Наука, 1981. С. 247–259.

Эйнштейн пережил две мировые войны. Перелистывая книгу "Эйнштейн о мире"[1], поражаешься огромной активности попыток великого ученого понять и найти решение основной проблемы: как человечеству жить в мире, как предотвратить третью мировую войну.

Перед второй мировой войной шовинизм оказался той эпидемической болезнью, которая поразила даже многих выдающихся представителей вида Homo sapiens. Как в первую, так и во вторую мировую войну эта эпидемия достигала своего апогея, военная истерия охватывала целые нации.

В интернационалистском призыве, с которым выступил Ромен Роллан (июнь 1919 г.), и в ряде других подобных документов того времени, подписанных Эйнштейном, передовые представители интеллигенции пытались осмыслить случившееся: "Война расстроила наши ряды. Наука, искусство, разум большинства людей умственного труда оказались на службе правительств... Пусть этот опыт явится по крайней мере уроком для нас на будущее" [1, p. 30].

В какой форме этот опыт следует реализовать, предвидя опасность возникновения новых войн? Эйнштейн находит ответ на этот вопрос в бескомпромиссном пацифизме.

«Я безоговорочно откажусь от любой помощи войне, прямой или непрямой, – отвечал он после первой мировой войны чешскому журналу "Правда" на вопрос "Что Вы будете делать, если разразится следующая война?", – и буду убеждать своих друзей занять ту же позицию» [1, p. 95]. Что может быть результативнее, действеннее той ситуации, когда специалисты, умом и руками которых создается оружие будущих войн, откажутся работать на войну? Трудно найти ошибку в таком логическом решении проблемы.

Но реальность внесла свои коррективы. В Италии пришел к власти фашизм, в Германии возник нацизм – две разновидности того же шовинизма, расстроившего в прошлом ряды интеллигентов-интернационалистов. В последующие годы фашизм спешно вооружался, и Эйнштейн внес существенные коррективы в свои пацифистские идеи. С формально-логической точки зрения эти коррективы были настолько существенны, что некоторые пацифисты начали упрекать Эйнштейна в измене их делу. Появилось, например, письмо голландских антимилитаристов под названием "Эйнштейн отступник". В нем, в частности, утверждалось: "В самый критический момент Эйнштейн принимает сторону милитаризма... Он думает, что может спасти европейскую цивилизацию посредством бомб, отравляющего газа и бактерий... Отступничество Эйнштейна – это большая победа германского национал-социализма... Действия Эйнштейна наносят ужасный вред борьбе против милитаризма" [1, p. 232].

"Моя точка зрения не изменилась, – излагал Эйнштейн свою позицию в 30-е годы. – Изменилась ситуация в Европе. Пока Германия упорно продолжает вооружаться и систематически внушает своим гражданам идею подготовки к военному реваншу, государства Западной Европы зависят, к несчастью, от состояния их

---

[1] Авторы затратили много усилий, создав энциклопедию общественной деятельности Эйнштейна. В данной статье в основном используются документы (письма, интервью Эйнштейна), собранные авторами названной книги [1].

военной обороны. Я хочу пойти дальше в своем утверждении: если они осмотрительны, они не должны ждать, чтобы, будучи невооруженными, подвергнуться нападению..." [1, p. 230].

Эйнштейн отнюдь не был отвлеченным мечтателем в социологии. Его ум часто проникал в суть социальных проблем с завидной глубиной и здоровым реализмом. Выдвинутая им идея "мирового правительства" свидетельствует, как может показаться, об абстрактном мышлении ее автора: она вызвала столько критических замечаний, что можно только удивляться той настойчивости, с которой Эйнштейн пропагандировал эту идею. Да, в течение многих лет Эйнштейн упорно отстаивал идею мирового правительства как гаранта против возможных будущих войн. Удивительно, как он, убежденный противник всякого рода диктатур, предлагал диктатуру мирового правительства. Эйнштейн прекрасно понимал, что мировое правительство должно обладать диктаторскими возможностями, и сам себе задавал вопрос: "Опасаюсь ли я тирании мирового правительства?" И отвечал: "Конечно, опасаюсь. Но я больше страшусь возникновения новой войны. Любое правительство до известной степени зло. Но мировое правительство предпочтительнее, чем войны с их большим злом, особенно имея в виду все возрастающую разрушительную способность войн" [1, p. 349].

Эйнштейн ясно понимал многие трудности практического осуществления идеи мирового правительства, но он не видел какой-либо альтернативы для обеспечения мира в современных условиях. Речь шла о создании своеобразной федерации государств, в которой, по Эйнштейну, исключается вмешательство мирового правительства во внутреннюю политику индивидуальной государственной структуры. Эйнштейн не анализирует, как сочетать возможные виды тирании со свободой государств, объединенных мировым правительством. Ведь в основе возникновения войн, как признает и Эйнштейн, лежат прежде всего экономические факторы: "Мы должны понять экономические причины войны. Здесь фундаментальная трудность заключается в эгоистическом желании людей свою выгоду ставить выше человечности" [1, p. 260].

Как решать экономические проблемы внутри такого сообщества разнородных государств? А тут еще Советский Союз со своим особым социально-экономическим строем.

Эйнштейн решил для себя раз и навсегда, что "война должна быть упразднена любой ценой и все другие соображения менее важны" [1, p. 394]. Поэтому проблема возможного отношения Советского Союза к реализации его идеи мирового правительства (т.е. мирового сообщества государств, которое бы исключало войны) занимает большое место в высказываниях Эйнштейна. Ученый тщательно анализирует поведение Советского Союза в различных международных ситуациях и поведение других государств по отношению к Советскому Союзу. "В течение многих лет, – писал Эйнштейн, – наша пресса вводила нас в заблуждение относительно усилий и достижений русского народа и его правительства... Мы должны особенно подчеркнуть тот факт, что русское правительство более честно и недвусмысленно содействовало международной безопасности, чем другие великие державы... Короче говоря, Россия не может быть обвинена в нелояльности в вопросах международной политики" [1, p. 322–323].

Как писал Эйнштейн, история отношений Советского государства с другими странами не всегда складывалась благоприятно для него: "Мы должны напомнить о поддержке Западом во время русской гражданской войны антисоветских генералов, о долгом политическом и экономическом бойкоте Советского Союза, постоянной пропагандистской кампании прессы против Советской России. Позже Россия вошла в Лигу Наций, но тогда русские стали свидетелями того, как фашистские агрессии в Маньчжурии, Испании, Абиссинии были восприняты с всепрощением, как заключались соглашения с агрессорами. И в конце концов, когда в первый период гитлеровского режима русские почувствовали себя отстраненными от наиболее важных европейских решений, они, вполне понятно, изменили свой подход к международным проблемам".

Эйнштейн отмечал, что в результате этой враждебной политики ведущих держав Запада Советский Союз был вынужден принять жесткие ответные меры, "в то время как перед Мюнхенским пактом Чемберлена русские трудились в сфере проблем международной безопасности с большей настойчивостью, чем любая другая великая держава" [1, р. 415–416].

Говоря современным языком, мы бы сказали, что Эйнштейн заглянул в историю антисоветизма. Далее Эйнштейн рассматривает подобные же враждебные тенденции в отношении Советского Союза и после совместно одержанной победы над гитлеровской Германией.

Америка стала обладательницей атомного оружия. В Хиросиме и Нагасаки совершилось злодеяние, от ужасов которого до сих пор не может оправиться человечество. В одном из интервью (газете "Нью-Йорк таймс" в июне 1946 г.) Эйнштейн говорил: "Перед налетом на Хиросиму ведущие физики настаивали перед военным департаментом, чтобы бомба не была использована против беззащитных женщин и детей. Победа в войне уже была и так обеспечена. Принятое решение оправдывали необходимостью предотвращения возможных потерь американских жизней в будущем; но теперь мы вынуждены рассматривать возможные потери в будущих атомных бомбардировках миллионов жизней. Американское решение было фатальной ошибкой. Людям стало привычным полагать, что раз примененное оружие может быть применено снова" [1, р. 386].

Разрушение Хиросимы (как демонстрация ядерного могущества США и их претензий на мировое господство) повлекло за собой ухудшение межгосударственных отношений между Советским Союзом и Соединенными Штатами, благоприятно сложившихся в эпоху Рузвельта. В декабре 1945 г. президент Трумэн высокопарно объявил: "Хотим мы того или не хотим, но наша победа возложила на американцев тяжелое бремя руководства миром". Фраза "хотим мы или не хотим" имела однозначный смысл: "мы хотим". "Не имеет смысла, – подчеркивал А. Эйнштейн, – дальнейшее перечисление всех деталей, которые указывают, что в ООН ничего не было сделано, чтобы уменьшить недоверие русских. На самом деле мы делали многое для усиления этого недоверия. События нескольких последних десятилетий делают вполне понятным это недоверие" [1, р. 380].

Недоразумения начавшейся "холодной войны" могли быть, по мнению Эйнштейна, устранены путем прямых переговоров между Советским Союзом и США.

В его послании к конференции, организованной Х. Шарпли в Карнеги-холл в Нью-Йорке 8 июня 1948 г., говорилось: "...в течение последних нескольких недель наше правительство дважды резко отклонило советское предложение войти в прямые переговоры в надежде достичь какого-то понимания между двумя странами" [1, p. 486].

"Холодной войне" сопутствовала небывалая гонка вооружений. Кто же инициатор этой гонки? Эйнштейн отвечал: "США в большей степени ответственны за зловещее соревнование в гонке вооружений, которая началась сразу же после окончания войны" [1, p. 487].

Может быть, Советский Союз угрожает Америке и Америке надо защищаться? В ответе Е. Рабиновичу, редактору "Bulletin of atomic scientists" (январь 1951 г.), Эйнштейн писал: "Я скажу, однако, что, по моему мнению, нынешняя политика США создает больше серьезных препятствий миру во всем мире, чем политика России. Происходят сражения не на Аляске, а в Корее. Россия находится под большей угрозой, чем США, и каждый это знает. Мне трудно понять, почему народ верит сказкам о том, будто бы мы находимся в опасности. Я могу только предположить, что все это объясняется отсутствием политического опыта. Ведя политику, нацеленную, по-видимому, на превентивную войну, правительство в то же время предпринимает попытку представить дело так, как если бы Советский Союз был агрессором" [1, p. 553].

В интервью, данном Эйнштейном Э. Рэндаллу в декабре 1951 г., содержится ответ на высказанное утверждение об успехах американского "жесткого курса" ("gettough policy") в отношении Советского Союза. Говоря об американском проникновении в Грецию, о создании Берлинского воздушного моста и о вмешательстве США в Корее, Эйнштейн предупреждал: "Продолжение этой политики внесет дальнейший вклад в опасное разделение человечества на два враждующих лагеря. Временные успехи подобной политики не должны закрывать наши глаза на эту опасность. Русская позиция мотивируется, по-моему, скорее соображениями защиты, нежели агрессивными намерениями" [1, 559].

При таком сопоставлении оценок, которые Эйнштейн дает советской внешней политике на протяжении десятилетий, кое у кого может возникнуть сомнение в его объективности. Могут предположить, допустим, что занятая Эйнштейном позиция является результатом особых его симпатий к советскому строю.

На самом деле – и это убедительно показано в цитируемой книге – Эйнштейн не воспринимал многого во внутренней жизни Советского Союза, а по ряду вопросов открыто выступал весьма критически. Но это не мешало ему – именно в силу его объективной позиции в вопросах войны и мира – трезво оценивать миролюбивую позицию СССР и осуждать недальновидный враждебный курс западных держав по отношению к Советской стране. Никакие несогласия с внутренней политикой СССР, как подчеркивал Эйнштейн, не могут служить оправданием того, что творят правящие круги США и других капиталистических стран под прикрытием искусственно нагнетаемой антисоветской и антикоммунистической истерии.

Эйнштейн писал, что нельзя «оправдать то, что делается в Соединенных Штатах под лозунгами "борьба против коммунизма", "коммунистическая опасность"

и т.п., используемыми реакционными политиками как предлог, маскирующий их наступление на гражданские права. Население США слишком обмануто, интеллигенция слишком запугана, чтобы быть способной эффективно защищать свои конституционные права» [1, p. 602]. И несколько раньше: «Как долго должны мы терпеть алчных к власти политиков, которые пытаются вызвать страх перед коммунизмом, стремясь заработать на этом политические дивиденды? ... Порой кажется, что наш народ сейчас утратил чувство юмора до такой степени, что французская пословица "смешное убивает" потеряла свое значение» [1, p. 601].

Эйнштейн, насколько известно, не входил в какую-либо политическую партию. В некотором смысле он был действительно великим, этот, как называют американцы, простой человек. Что же предлагает он миру? «Нет проблемы более жизненно важной, чем проблема конфронтации между Соединенными Штатами и Советским Союзом. Даже если обе эти страны окажутся полностью отрезанными друг от друга в результате землетрясения или аналогичного природного явления, обе страны будут продолжать существовать. Поэтому должна существовать возможность найти "Modus vivendi" путем переговоров» [1, p. 485].

«Я убежден, – писал Эйнштейн в 1948 г., – что Ф. Рузвельт смог бы достичь удовлетворительного "Modus vivendi" с Россией. Нынешняя администрация могла бы сделать то же самое, если бы она искренне к этому стремилась», т.е. если бы это делалось "не в грубой манере президента Трумэна" (из письма к Г. Осборну).

Вторая мировая война еще была в самом разгаре (август 1942 г.), а Эйнштейн уже размышлял о послевоенном устройстве мира. Он предупреждал об опасности ремилитаризации Германии и Японии. Он писал Э. Калбертсону: "Мало кто в этой стране имеет ясное понимание того, насколько глубоко укоренилось в Германии и Японии милитаристское умонастроение определенных классов, которые идентифицируют себя с государством.

Вы сможете понять, что я имею в виду, когда Вы прочтете вложенную статью Фридриха Вильгельма Форстера, который боролся против преступной политики правящих классов нашей страны с исключительной энергией и смелостью" [1, p. 321–322].

Вряд ли кто-либо станет утверждать, что сказанное Эйнштейном почти четыре десятилетия назад не имеет никакого отношения к современности. Как живучесть, так и возникновение милитаризованного шовинизма в некоторых странах представляют по-прежнему большую опасность.

Если мудрецы, философы не могут создать, следуя Платону, идеальное государство, то они могут предупредить человечество о грозящей опасности. Это предупреждение дано учеными в Манифесте Рассела–Эйнштейна. Хотя этот документ составлен в основном Расселом, но многие мысли и формулировки этого документа можно найти в документах Эйнштейна.

"Мы должны научиться мыслить по-новому, мы должны спрашивать себя не о том, какие шаги надо предпринимать для достижения военной победы тем лагерем, к которому мы принадлежим, ибо таких шагов больше не существует, мы должны задавать себе другой вопрос: какие шаги можно предпринять для предупреждения

военного конфликта, исход которого будет катастрофическим для всех его участников" [1, p. 633].

Впервые в истории возникла такая ситуация, когда в войне не может быть победителя. Еще за семь лет до появления Манифеста Эйнштейн писал в "Фатальном решении" (1948 г.): "Пропасть между Востоком и Западом, над уменьшением которой работали люди доброй воли, с каждым днем увеличивается. Раздаются голоса, утверждающие, что какое-либо примирение невозможно и только война может разрешить конфликт. На это мы, ученые, отвечаем, что путем войны невозможно какое-либо решение, ибо атомная война не только не позволит решить проблему, но и явится причиной беспрецедентных по своим масштабам гибели населения и опустошения территории обеих сторон" [1, p. 459].

Это было сказано более 30 лет назад. За эти годы, как и предвидел Эйнштейн, безмерно увеличивалась разрушительная способность ядерного оружия, появилась и водородная бомба. Война окончательно потеряла свой прежний смысл как продолжение политики. Но у нее не появилось никакого другого смысла. В Манифесте мы читаем также: "В данном случае мы выступаем не как представители того или иного народа, континента или вероучения, а как живые существа, как представители человеческого рода, дальнейшее существование которого находится под угрозой" [1, p. 632].

Эйнштейн, как мы видели, тщательно проанализировал внешнюю политику Советского Союза. Можно напомнить, что общая оценка, к которой он пришел, заключена в словах: "Я полагаю, что достижение безопасности – это главный мотив в основе русского политического мышления" [1, p. 418].

Более того, Эйнштейн не считает, что идеологические различия между социальными системами могут противоречить их мирному сосуществованию. Он полагал, что международная напряженность в значительной мере обусловлена другими причинами.

В заключительной части Манифеста декларируется не только возможность, но и необходимость сосуществования: "Перед нами лежит путь непрерывного прогресса, счастья, знания и мудрости. Изберем ли мы вместо этого гибель только потому, что не можем забыть своих ссор? Мы обращаемся ко всем как люди к людям: помните о том, что вы принадлежите к роду человеческому, и забудьте обо всем остальном. Если вы сможете сделать это, перед вами открыт путь в новый рай; если вы этого не сделаете, перед вами опасность всеобщей гибели" [1, p. 635].

Это было сказано более двадцати лет назад. Но гонка вооружений продолжается все ускоряющимися темпами. Что произошло с Homo sapiens?

Впервые в истории человечества с такой очевидностью стало ясно, что война и дальнейшее существование человечества противоречат друг другу. Но тем не менее государства мира, затрачивая на гонку вооружений более миллиарда долларов в один день, вопреки всякому рассудку сползают по наклонной плоскости к войне.

Что же произошло с Homo sapiens?

Ничего нового – он по-прежнему трудится в качестве квалифицированного мастера военной машины. В сущности, он работает над решением не очень почтен-

ной проблемы – как невозможную войну сделать возможной; какие новые средства массового уничтожения можно изобрести, чтобы получить такое военное преимущество, когда, говоря шахматным языком, белые начинают и выигрывают в мгновенном блицкриге. Но даже самые отъявленные милитаристы не могут позволить себе пропагандировать эту идею столь откровенно. Идея военного превосходства камуфлируется идеей "сдерживания".

Но так же, как невозможность (недопустимость) ядерной войны обусловлена специфическим свойством ядерного оружия – его способностью уничтожить все живое на планете, – так же идея сдерживания через превосходство, а с ней и гонка вооружений стали бессмысленными в результате действия в существующих условиях специфического закона, который условно можно назвать термодинамикой гонки вооружений. Материальные и технические возможности противостоящих сторон сейчас таковы, что малейшее неравенство в вооруженности сторон исчезает так же быстро, как сравниваются температуры двух различно нагретых соприкасающихся тел.

Даже в момент, когда, казалось бы, США надолго обеспечили свое военное преимущество, Эйнштейн писал (1946 г.): «Что касается так называемого "секрета" атомной бомбы, то я полагаю, что Россия будет способна производить атомные бомбы своими собственными усилиями через короткое время». И, как во многих других случаях, он оказался прав.

К сожалению, прошедшие годы отнюдь не упростили проблему прекращения гонки вооружений. Наоборот, общая ситуация весьма усложнилась.

Над нашей планетой все более сгущается черная тень опасности всеобщего уничтожения. В такие моменты необходимо сознательное стремление к ясности в международных отношениях. В эти моменты очень рискованно заигрывать с военной опасностью, вести "игру в Апокалипсис", как любят выражаться на Западе.

Не будем терять веру в лучшее будущее. Время, идеи и ситуации меняются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Einstein on peace. N.Y., 1981.

ПИСЬМО АКАДЕМИКА М.А. МАРКОВА ЧЛЕНАМ ИСПОЛКОМА ПАГУОШСКОГО ДВИЖЕНИЯ*

Дорогие коллеги!

Этим письмом довожу до вашего сведения о моем решении выйти из состава Исполкома Пагуошского движения и его Совета по причине серьезного ухудшения моего здоровья.

---

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 210–219.

Я рекомендую в качестве кандидата в члены Совета и Исполкома академика В.И. Гольданского, кандидатура которого поддерживается и активом советской Пагуошской группы ученых.

Я должен сказать также, что мое решение выйти из руководящих органов Пагуошского движения, как я неоднократно высказывал многим его участникам (профессору Ротблату и др.), связано и с неудовлетворенностью результатами своей деятельности. Здесь я не касаюсь большой и плодотворной истории Пагуошского движения. Но мне казалось, что Пагуошское движение, имея в своем наследии такое богатство идей в виде Манифеста Рассела–Эйнштейна, могло бы стать лидером мирового движения борьбы за мир, провозглашая необходимость нового мышления в решении проблем мира и международных отношений.

Лет десять назад, на одной из Пагуошских конференций (Мюнхен, 1977 г.) мной было предложено составить на основе пяти страниц Манифеста достаточно обширный меморандум с популярным истолкованием идей Манифеста. В моем докладе говорилось, что меморандум должен быть издан миллионным тиражом. "Меморандум должен лежать на письменных столах государственных деятелей, ответственных за судьбы мира. Он должен быть переведен на многие языки и быть доступным всем народам".

Дело ограничилось лишь появлением доклада в Пагуошском издании материалов конференции.

Года три назад мной была составлена рукопись "Манифест Рассела–Эйнштейна сегодня" объемом более ста страниц. Из анализа материалов Манифеста в условиях настоящего времени делалось заключение, что только всеобщее и полное разоружение может спасти человечество от уничтожения (текст рукописи на английском языке читали Холдрен и Ротблат, последний ограничился лишь скептическими замечаниями). В результате анализа ситуации в рукописи предлагалось созвать "Всемирный конгресс ученых и общественных деятелей" под девизом "Рассел–Эйнштейновский Манифест сегодня". Возникновение необходимости нового мышления и характер нового мышления должны бы оказаться объектом обсуждения конгресса. Крайский, Пальме и Папандреу назывались возможными спонсорами конгресса. Вялые разговоры по поводу этого предложения велись в Исполкоме и Совете, но мне не удалось довести это предложение до создания реального плана и его осуществления. Моя поездка в Грецию в этом году была связана с надеждой обсудить возможности конгресса с Папандреу, но встреча Папандреу с Пагоушской группой не состоялась из-за его болезни.

Счастье для истории, что необходимость нового мышления в проблемах преодоления ядерной катастрофы, хотя спустя десятилетия, была переоткрыта государственными политическими деятелями, вдохнувшими в новое мышление обобщающее, поистине грандиозное реальное содержание, и если эти идеи овладеют миром, то, говоря словами Манифеста, перед человечеством откроется путь в новый рай. Если же это сделать не удастся, перед человечеством возникнет опасность всеобщей гибели.

Мне кажется, что цель и задачи Пагуошского движения – не плестись в хвосте политических событий, не обсуждать параллельно с ведущимися переговорами по

разоружению по необходимости менее профессионально и менее квалифицированно. А как свойственно ученым, обдумывать и предлагать новые идеи, новые решения проблем, решения, которые пока еще не стали объектом переговоров политических деятелей.

Ведь пример того, что ученые, подарившие миру Манифест, где идеи нового мышления по проблемам предотвращения глобальной ядерной опасности уничтожения человечества на четверть столетия определили мышление государственных деятелей, говорит о потенциальных возможностях ученых.

Следует привлекать крупнейших ученых к Пагуошскому движению, и не по региональному распределению мест, а по их научной весомости, компетентности и соответствующим творческим потенциалам.

В истории Пагуошского движения существует традиция, не имевшая исключения: президентом движения избирается обязательно ученый из научной элиты планеты (Рассел, Пауэлл, Альвен и ныне Ходжкинс), имена их на политическом знамени Пагуошского движения. Как известно, Манифест Пагуошского движения подписан десятью лауреатами Нобелевской премии.

По моему мнению, одним из важнейших достижений Пагуошского движения периода президентства Ходжкинса является "Пагуошская декларация об опасностях ядерной войны" (Варшава, 1982 г.).

Декларация подписана 111 лауреатами Нобелевской премии по естественным наукам. Меня обрадовало то обстоятельство, что Декларация издана также отдельным красочным плакатом с перечислением всех имен лауреатов Нобелевской премии самых разнообразных политических убеждений. Это единство достигнуто на основе нового мышления, декларированного Манифестом: "Разногласия между Западом и Востоком должны решаться таким образом, чтобы дать возможное удовлетворение всем: коммунистам и антикоммунистам, азиатам, европейцам и американцам, белым и черным". Кстати, появление этой Декларации с привлечением лауреатов Нобелевской премии во многом определялось инициативой советской группы. С появлением этой Декларации и плакатов мне казалось, что наступает существенно новый период в истории Пагуошского движения, что Пагуошское движение из сектантского бытия выходит на руководящие позиции всемирного антивоенного движения. Но последующие годы принесли разочарование продолжением привычной рутинной практики, за некоторым нечастым исключением (участие лично ряда ученых – участников Пагуошского движения – в Московском форуме ученых и др.).

Уходя из руководства Пагуошского движения, я не могу не сказать несколько слов о своих соображениях по проблемам, стоящим перед Пагуошским движением. После Рейкьявика – это проблемы как ядерного, так и всеобщего и полного разоружения. Здесь много еще нерешенных проблем, в решении которых ученые могут сказать новые слова. Здесь и проблемы перевода военной промышленности на мирную тематику, здесь и проблемы государств явно ядерных и "околоядерных", здесь и практические, далеко не простые проблемы согласованного контроля над проведением процесса уничтожения ядерного оружия, в частности "перековки мечей на орала".

Еще на симпозиуме в Киото (1975 г.) мной было предложено создание в на-

циональных Пагуошских группах специальных групп изучения возможностей и трудностей всеобщего и полного разоружения...

После Рейкьявика возник своеобразный синдром боязни всеобщего и полного разоружения, появились похвальные слова ядерному оружию как фактору взаимного сдерживания. В выступлениях М. Тэтчер, Ж. Ширака и др. объявляется утопией полное ядерное разоружение. Главная задача Пагуошского движения сегодня – убедительно доказать, что утопией является возможность длительного существования человечества с упованием только на фактор ядерного сдерживания.

На эту тему мной опубликована статья в газете "Правда" от 14 июля текущего года о произошедшей эрозии фактора ядерного сдерживания. Статья хорошо известна академику В.И. Гольданскому. В своих неудачах на посту члена Совета и Исполкома, о которых шла речь выше, я могу винить только себя. У меня не хватило энергии и умения реализовать мои предложения.

В заключение выражаю пожелание успехов в предстоящей австрийской конференции.

P.S. В возникших в последние годы многочисленных формах движения за мир в общественном мнении настолько затерялась роль Пагуошского движения, что с большой печалью я сейчас слышу вопрос: "А продолжает ли существовать Пагуошское движение?" Только недавно этот вопрос мне задал известный советский писатель Даниил Гранин.

Прошу мое письмо довести до сведения участников конференции.

Март 1987 Ваш *М.А. Марков*

ПИСЬМО УЧАСТНИКОВ 37-Й ПАГУОШСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ*

Уважаемый академик Марков!

Мы, участники 37-й международной Пагуошской конференции по науке и мировым проблемам, единодушно выражаем Вам свою признательность и шлем наилучшие пожелания.

Из Вашего письма мы с сожалением узнали, что здоровье вынуждает Вас выйти из состава Пагуошского совета.

В Вашем письме слишком скромно упоминается о Ваших усилиях по убеждению людей в необходимости нового мышления, о котором говорили Рассел и Эйнштейн. Мы же знаем о том значительном воздействии, которое оказали Ваши

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 219.

искренность и честность в этом вопросе за все эти годы на участников Пагуошского движения, а также многих других людей. Вы покидаете нас с добрыми, дружескими чувствами, с пониманием, о чем мы всегда будет помнить и за что Вам сердечно благодарны.

Участники 37-й международной
Пагуошской конференции
по науке и мировым проблемам
Гмунден-ам-Траунзее, Австрия
3 сентября 1987 года

864411964

24532 toscana
k

364411964

24532 -toscana

dear academician markov,

we, the participants at the 37th international pugwash confernence on science and world affairs, join together with one voice to greet you and send you our very best wishes.

we have read your letter, and learned with deep regret of the health problems which have led to your resignation from the pugwash council.

your letter speaks with too great modesty of your efforts at convincing people of the need for a new way of thinking. , the way pointed out by russell and einstein. as far as we are concerned, there is no doubt of the considerable impact which your sincerity in this matter has had on pugwash participants and others over many years. you therefore leave us with a legacy of goodwill, friendship and understanding that will not be forgotten and for which we cordially thank you.

the participants
37th international pugwash copnference on science and world affairs
gmunden am traunsee, austria
3 seueptember 1987

24532 toscana

Antonio F. Rañada

Ch. Palamy

Peter Merkl

Oleg Reutov

KIRILL BABIEVSKY

Esmat Ezz

Rolf Trapp

Tony Thorndike

Wolf Mandl

Ali E. Hillal Dessouki

Derek Paul

F. El Bedewi

E. Sivan

小川 岩雄
(IWAO OGAWA)

JUAN POZO-OLANO

Michael [illegible]

Christopher Rommel

Dorothy Hodgkin

FEDORENKO Nikolai

Rita Rogers

Nissan Oren

S. S. Salal

Janez [illegible]

Noel Baptist

[illegible] Freier

F. Kohler

H. Baranek

E. Yassin

Gabriel [illegible]

Patricia Lindop

Peter Wallensteen

[illegible]

S. AL-AZM [illegible]

A. SaidAly

Philip B. Smith

III

ЗАРИСОВКИ НА ЗАСЕДАНИИ ПРЕЗИДИУМА АКАДЕМИИ НАУК



А. П. Александров



А. М. Прохоров



В. А. Амбарцумян



Н. Н. Боголюбов



В. И. Кудрявцев



Е. П. Велихов



А. П. Виноградов



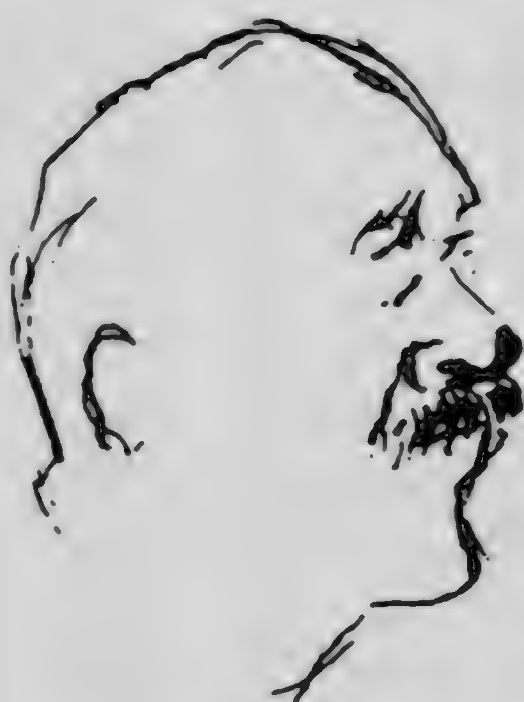
Н. Г. Басов



Я. Б. Зельдович



Н. Н. Семенов



Е. М. Крепс



В. А. Котельников



А.Н. Несмеянов



Ю.А. Овчинников



Н.И. Мусхелишвили



М.А Стырикович.



Хохлов



А.И. Опарин.



Смородинский



Г. К. Скрябин

IV

ВОСПОМИНАНИЯ О ФИЗИКАХ

ЮРИЙ БОРИСОВИЧ РУМЕР*

Я начал научную работу у Сергея Ивановича Вавилова в качестве экспериментатора. Вскоре Сергей Иванович был избран академиком, занял пост директора Ленинградского оптического института, переселился из Москвы в Ленинград. Моя экспериментальная деятельность прекратилась. Это было до переезда Академии наук из Ленинграда в Москву.

В это время в Советский Союз после многолетнего пребывания в Германии вернулся молодой, но к тому времени уже известный физик-теоретик Юрий Борисович Румер[1]. Очередная научная мода того времени была квантовая химия. Это, кстати, была та область, в которой работал и Ю.Б. Румер.

В те годы возникла классическая работа о молекуле водорода, структура которой истолковывалась наличием гомополярных связей с помощью электрона: электрон осуществлял эту связь, грубо говоря, меняя свое пребывание то у одного, то у другого протона. Ю.Б. Румер предложил мне рассчитать энергию связи (фактически стабильность) молекулы бензола, используя только что появившуюся его работу "К теории спин-валентности".

Помню, как Юрий Борисович подошел к доске, стал излагать теорию валентных связей Лондона–Гайтлера–Румера, рисовать спиновые штрихи и говорить о теории групп, о различных типах симметрий. Юрий Борисович по своему складу ума был скорее математиком. Я мало разбирался в том, о чем говорил Юрий Борисович: на физическом факультете в то время теория групп в преподавании практически не встречалась. Я понял, что при решении возникает уравнение тридцать четвертого порядка, которое благодаря симметрии в структуре бензола, как говорил Юрий Борисович – "симметрии вращения" и "зеркального отражения", должно свестись к уравнению значительно более низкого порядка.

На меня большое впечатление произвел этот человек, стоящий у доски, его внешний вид и манера разговаривать. Юрий Борисович был высокого роста, с крупными, как говорят, "породистыми", чертами лица. Его голова с большим выпуклым лбом была в отличном, если можно так сказать, "скульптурном" исполнении. Даже отсутствие волос на голове естественно и гармонично вписывалось в общий "скульптурный замысел". Особенно запомнились, как казалось, огромные темные

---

*Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 9–13.

[1] В 20-е годы Ю.Б. Румер уехал в Германию для продолжения научной работы у А. Эйнштейна, но затем оказался в научных кругах, близких к М. Борну. Его друзьями были, в частности, Э. Теллер, В. Гайтлер и более молодой тогда В. Вайскопф. Здесь я касаюсь только своих личных воспоминаний о Ю.Б. Румере и совместной с ним работе.

глаза и взгляд, всегда как будто изучающий вас с какой-то своеобразной детской внимательностью и благожелательностью.

С порученными мне вычислениями я как-то справился, и моя первая работа была напечатана в первом же томе возникшего нового журнала ("Journal of Chemical Physics")[2] под редакцией Полинга. В следующей нашей совместной работе [2] рассматривалось обобщение на случай орбитальных моментов оператора спиновых перестановок Дирака:

$$P_{12}^{\delta} = \tfrac{1}{2}(1 + \bar{\delta}_1 \bar{\delta}_2).$$

Как известно, энергия системы атомов с нулевым орбитальным моментом содержит обменный член

$$\sum V_{rs} P_{rs}^{\delta},$$

где V_{rs} – обменный интеграл, а P_{rs}^{δ} – оператор перестановок Дирака. В нашей же совместной работе с Ю.Б. Румером найден общий вид оператора перестановок уже для орбитальных моментом атома a и b:

$$P = \sum \beta_{\mu} \theta^{\mu},$$

где $\theta = \overline{M}^a \overline{M}^b$. Для D-состояния, например,

$$P_D = \frac{1}{36}(\theta^4 + 6\theta^3 - 13\theta^2 - 90\theta - 36).$$

В дальнейшем развитый формализм оператора перестановок был применен к вычислению уравнений сложных спектров [1] в случае эквивалентных электронов (слэтерские спектры). Обобщение на случай различных моментов ($M^a \neq M^b$) атомов было впоследствии дано Шапошниковым.

В 1935 г. Ю.Б. Румер предложил мне с помощью известных теорем Э. Нетер вывести все законы сохранения теории электрона Дирака (типа $\mathrm{Div}\, A = T$). Подобная работа в начале 20-х годов для классической электродинамики, как известно, была выполнена Бессель-Гагеном (1921 г.). Речь шла об использовании для данной цели инвариантности уравнений Дирака относительно 10-параметровой группы Лоренца (G_{10}). Своеобразие результатов этой работы заключалось в том, что каждый из этих законов расщепляется релятивистски-инвариантным образом на два. К тому времени подобный результат был получен Гордоном для тока Дирака, на этот результат в свое время обратил внимание Паули (подробнее о характере этого расщепления см. очерк "Вольфганг Паули", с. 409–421).

В 1934 г. Академия наук перебазировалась из Ленинграда в Москву. И я вместе с Ю.Б. Румером был приглашен на работу в ФИАН.

В 1937 г. Ю.Б. Румер одновременно с Л.Д. Ландау был арестован и после отбытия срока наказания был сослан в одно из отдаленных мест Сибири. Будучи в заключении, Ю.Б. Румер написал работу о так называемой "пяти-оптике".

---

[2] Имеется в виду статья "On the Quantum Mechanical Stability of Benzol Molecule" (см. т. I настоящего издания, с. 19–25). – *Примеч. сост.*

В.Л. Гинзбургу и мне удалось в начале 50-х годов получить разрешение для приезда Ю.Б. Румера в Москву в Академию наук, где и проходило обсуждение его работы по пяти-оптике.

Речь шла о развитии к тому времени забытой работы Калуцы[3] о возможной не четырехмерной, а пятимерной структуре нашего пространства. Надо ли напоминать, что 30 лет спустя физики-теоретики обратились к изучению возможного существования многомерных пространств даже более высокого числа измерений.

Когда закончился разрешенный месячный срок пребывания Румера в Москве, Главный ученый секретарь Президиума Академии наук А.С. Топчиев подал в соответствующие учреждения ходатайство о краткосрочном продлении этого разрешения. К этому времени на квартире, где остановился Румер, уже побывал милиционер и заявил о строгом запрете дальнейшего проживания Румера в Москве. А.С. Топчиев успокоил Румера, сказав, что на днях разрешение на дальнейшее пребывание Румера в Москве будет получено, а пока несколько дней Румер может проживать в академической гостинице на улице Горького, директора которой он предупредил по телефону о приходе к нему Румера. Директор гостиницы очень любезно приняла Румера: "Как же, как же... сам А.С. Топчиев звонил..." Но когда Румер вместо паспорта предъявил документ ссыльного поселенца, директор, как рассказывал Юрий Борисович, дрожащей рукой набрала номер телефона А.С. Топчиева, и Румер слышал, как она жаловалась, что его просьбу она не в состоянии выполнить. В этот день Юрий Борисович зашел ко мне на дом, ему пришлось провести ночь у меня. Естественно, было много разговоров допоздна. О своем аресте, о пребывании в заключении Юрий Борисович уклонялся рассказывать. Хотя из отрывочных фраз было ясно, что ему повезло, так как он находился в привилегированном положении в какой-то научно-исследовательской организации, которая, кажется, носила в быту обобщенное название "шарашка". Во всяком случае, на вопрос, как ему удалось в заключении написать все-таки такой объемный труд, как "Пяти-оптика", он ограничился коротким ироничным ответом в его стиле: "У меня там было много свободного времени и возможности пользоваться литературой... Ни собраний..., ни заседаний... На свободе я вряд ли занялся бы пяти-оптикой..."

Сергей Иванович Вавилов, будучи Президентом Академии наук, делал попытки помочь Юрию Борисовичу перебраться в какой-нибудь сибирский университетский город. В этой связи Юрий Борисович спросил меня: "Как Вы думаете, удастся Вавилову реализовать свою идею? И сам же, размышляя, заметил: "Почему может не удаться? КГБ будет возражать? Но ведь они лучше всех знают, что я ни в чем не виноват..."

Я узнаю Юрия Борисовича с его железной, но часто наивной логикой.

В эту ночь Юрий Борисович очень много рассказывал, в частности, об Эренфесте, который познакомил Румера с Эйнштейном. Эренфест в то время играл значительную роль в научной жизни не только Германии. Он был ученым с широкими научными связями. Умел живо и интересно ставить научные вопросы и участвовал в их обсуждении. Жена Эренфеста – Афанасьева – продолжала жить в Одессе.

---

[3] Имеется в виду статья: *K. Kaluza*. Sitzungsberichte Preussische Akad. Wissenschaften. Berlin (Math. Phys.). 1921. Bd. 1. S. 966–972. – *Примеч. сост.*

Свои личные письма жене Эренфест писал под копирку, так как в них сообщались свежие научные новости, которые представляли интерес для ряда других ученых.

От физика-теоретика потомству остаются либо удачные формулы, уравнения, либо общие принципы. Это то немногое, что временем отсеивается от когда-то очень активной и в свое время полезной деятельности. Эренфест в свое время был очень популярен: когда он приезжал в Ленинград, то в институте часто выставляли ящик для обычно многочисленных записок и вопросов студентов. В одном из последних ящиков он с горечью не обнаружил ни одной записки. Sic transit gloria mundi[4].

По большому счету от Эренфеста не осталось ни значительных формул, ни уравнений, ни принципов. Его все реже и реже вспоминают. Личная судьба его трагична. С приходом Гитлера к власти, находясь в Германии, Эренфест покончил с собой, предварительно застрелив своего психически неполноценного сына...

Несколько месяцев спустя Юрий Борисович позвонил мне из проходной ФИАНа и попросил выписать пропуск. ФИАН в это время имел статус закрытого института. Юрий Борисович жаловался, что его "почему-то не пропускают" – требуют паспорт, а у него только карта ссыльного поселенца. Я вышел к нему в проходную, чтобы объяснить ему сложность ситуации. Но правым оказался Юрий Борисович: у него, кроме документа ссыльного поселенца, был оформленный по всей форме "допуск к секретной работе". И ему, конечно, был выписан пропуск в здание ФИАНа. И такое бывало...

Впоследствии Юрий Борисович занимал руководящую научную должность в Сибирском отделении Академии наук, но работал в области проблем твердого тела. В 1982 г., оформляя статью о вкладе советских физиков в начальную историю физики слабых взаимодействий, я вспомнил ранние работы Юрия Борисовича по физике нейтрино. Именно в 1934 г. им была опубликована в "Докладах Академии наук" статья под названием "Волновая теория нейтрино". Содержание статьи формулируется в первых ее фразах: "Новейшие исследования в области физики ядра говорят в пользу существования нейтрино, частиц с массой равной нулю, и со спином, равным половине. В дальнейшем мы покажем, что в случае, если такие частицы существуют, волновая теория для них непосредственно следует из общих принципов волновой механики. Мы исследуем общий случай частицы с массой нуль и специализируем затем теорию на случай фотона и нейтрино".

В 1934 г. появилась известная работа Ферми "К теории нейтринных взаимодействий". Эта статья Румера в его работе 1934 г. не цитируется. Я позвонил Румеру в Новосибирск, чтобы выяснить, знал ли Румер в то время о работе Ферми. К телефону подошла жена Румера и сказала, что в настоящее время Юрий Борисович почти ничего не видит и совершенно не слышит: с ним контакт практически утерян.

Вскоре его не стало...

P.S. Для описания фотона Ю.Б. Румер получил трехсрочное уравнение первого порядка в виде

$$(p_0 + \pi_1 p_1 + \pi_2 p_2 + \pi_3 p_3)\psi = 0,$$

[4] Так проходит земная слава.

по виду аналогичное уравнению Дирака, но с трехрядными матрицами:

$$\pi_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & i \\ 0 & -i & 0 \end{pmatrix}, \quad \pi_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \pi_3 = \begin{pmatrix} 0 & i & 0 \\ -i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

ЛИТЕРАТУРА

1. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1935. Т. 5. С. 478.
2. *Markov M.A., Rumer G A.* // Acta physicochim. URSS. 1934. Vol. 1. P. 56.

ВОЛЬФГАНГ ПАУЛИ*

В. Паули занимает особое место в истории физики. Он играет роль строгого Учителя. Учителя с большой буквы, задача которого – блюсти логический порядок в возникающих новых идеях в теоретической физике; зорко видеть алогизмы и несовершенство в формулировке новых идей. Поэтому ему часто приходилось отвергать их "с порога".

Новые идеи всегда уязвимы для критики – возражения Паули, как правило, всегда логично убедительны. Так, например, впервые гипотезу о возможности для электрона обладать собственным моментом предложил Кронинг. Известно, что в свое время он обратился к Паули с замечанием о том, что можно навести порядок в систематике атомных спектров, если приписать электрону собственный вращательный момент со значением $\hbar/2$. Паули указал на то, что нельзя непротиворечиво построить подобную модель электрона. Точечная классическая частица не может обладать моментом вращения, а предложенная неточечная модель подобного электрона неизбежно приходит в противоречие с теорией относительности. Соображения Паули казались настолько убедительными, что автор отказался от публикации своей работы. Гаудсмит и Уленбек – авторы той же идеи – не побоялись опубликовать ее, казалось бы, с теми же пороками, на которые указывал Паули. И лишь после появления уравнения Дирака для частицы со спином $\hbar/2$ выяснилось, что математически непротиворечиво описывается "точечная" частица с собственным моментом $\hbar/2$.

Известно, что Паули был даже против обсуждения (на семинаре в Англии) только что появившейся тогда работы де Бройля... Очень поучительна критика Паули тогда только что появившегося уравнения Дирака для релятивистского электрона. Можно напомнить, что вначале Дирак полагал, что его уравнение описывает электрон – частицу с отрицательным электрическим зарядом и протон – частицу с положительным зарядом. Такой точке зрения способствовало то обстоятельство, что к моменту появления в литературе уравнения Дирака физикам были известны только две частицы с электрическим зарядом противоположного знака, – электрон и протон. Но довольно быстро было понято, что частица противоположного знака заряда, описываемая уравнением Дирака, должна иметь

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 13–29.

массу не протона, а электрона. А так как такой частицы в то время физики не знали, то Паули подверг теорию Дирака резкой критике [1].

Критике подверглось наличие в теории Дирака состояний с отрицательной энергией и соответствующих следствий, о которых шла речь выше. Поучительно привести выдержку из книги Паули, посвященную уравнению Дирака:

«Попытка спасти теорию в ее теперешней форме кажется... с самого начала безнадежной... Сам Дирак предпринимал такую попытку. Он предположил, что в пустом пространстве все состояния с отрицательной энергией заполнены каждое одним электроном. Вследствие принципа Паули такое состояние стабильно. Далее вводится дополнительное предположение, что бесконечный заряд этих электронов не создает поля. Но поле создается только отклонением заполнения состояний от нормального полного заполнения. В этом случае незаполненные состояния с отрицательной энергией ведут себя как по отношению к создаваемому полю, так и по отношению к своему поведению во внешнем поле подобно частицам с зарядом $+e$ и положительной массой. Однако эти "дырки" нельзя отождествлять с протонами, так как, во-первых, масса частиц должна точно равняться массе электронов и, во-вторых, по этой теории должна была бы очень часто происходить аннигиляция электрона и протона (например, атомы водорода), сопровождаемая излучением. Поэтому Дирак предложил (уже ранее обсуждавшийся Оппенгеймером) выход – отождествить "дырки" с антиэлектронами – частицами с зарядом $+e$ с массой электрона».

Но такую частицу физики того времени не знали. Поэтому Паули заканчивает свою критику словами: "Мы не думаем, таким образом, что намеченный путь мог бы серьезно быть принят во внимание". Надо ли говорить о том, что логически критика Паули уравнения Дирака была непогрешима. Но еще до выхода книги Паули из печати Андерсон (1932 г.) экспериментально открыл позитрон.

Теоретическое предсказание существования в природе позитрона стало триумфом уравнения Дирака.

В научном наследии Паули доминирующее значение имеет принцип Паули и его гипотеза относительно возможного существования в природе нейтрино.

При толковании процессов β-распада ядер Н. Бор, воодушевленный успехами своих идей в понимании структуры и свойств атомов, идей, которые существенным образом порывали с представлением классической физики, легко соглашался с такой ситуацией, в которой просто нарушался закон сохранения в индивидуальном акте β-распада. И вообще, по мнению Бора, и будущие теории, адекватно описывающие микромир, должны быть все более и более отличными от классической, все более и более "сумасшедшими" ("crazy"), по терминологии Бора. Дальнейшее развитие событий показало, что в данном случае "сумасшедшая" идея Бора потерпела жестокое поражение. Совсем другое научное кредо характеризовало мышление Паули – оно скорее отличалось, так сказать, "здоровым консерватизмом". И в данном случае попытка найти решение загадки β-распада в рамках закона сохранения энергии оказалась успешной и плодотворной. Но научный скептицизм Паули оставил также свой след в истории физики нейтрино. Ф. Хойл в заключительном слове на симпозиуме по физике нейтрино (Лондон, 1966 г.) вспомнил историю, которую рассказал ему близкий друг Паули – астроном Вальтер Бааде: «В один из вечеров Паули зашел к нему со словами: "Я сделал сегодня что-то ужасное. Физику-теоретику никогда не следует делать такое. Я предложил нечто, что никогда нельзя будет проверить экспериментально"». Бааде тут же заключил пари на шам-

панское – любимый напиток Паули, что придет день, когда нейтрино будет экспериментально зарегистрировано. Когда много лет спустя Коуэн и Рейнис и в самом деле зарегистрировали нейтрино, Паули выставил шампанское, чему Бааде был свидетелем.

В 1934 г. появилась работа Паули и Вайскопфа о квантовании скалярного релятивистского волнового уравнения [2]. В ней шла речь о волновом уравнении второго порядка. Мое внимание было обращено на то обстоятельство, что выражение для тока (заряда) в этой теории скалярных частиц в отличие от уравнения Дирака первого порядка не положительно определено, т.е. имеются равноправные частицы двух противоположных по знаку электрических зарядов. В отличие от уравнения Дирака состояния с отрицательной энергией в этом случае отсутствуют. В отличие от теории Дирака никакого вакуума, заполненного бесконечно большим отрицательным зарядом, также нет. У меня возник вопрос, нельзя ли и в случае электронов и позитронов использовать формализм, близкий к формализму скалярного уравнения, которое было объектом работы Паули и Вайскопфа.

Следует заметить, что критикуемый Паули бесконечный отрицательный заряд вакуума еще ряд лет после появления уравнения Дирака и открытия позитрона все-таки с трудом укладывался в наши привычные представления. В 1935–1936 гг. у меня возникла идея: нельзя ли предположить, что в природе существуют два вакуума с противоположными знаками зарядов. Дело в том, что можно написать два различных уравнения Дирака:

$$(i\hat{p}+m)\psi_{-e}=0, \qquad (1)$$

$$(i\hat{p}-m)\psi_{+e}=0, \qquad \hat{p}=-i\gamma_\mu \frac{\partial}{\partial x_\mu}, \qquad (2)$$

одно из них для частиц с массой m, зарядом $-e$, другое для частицы с той же массой m, но зарядом противоположного знака.

Уравнения (1) и (2) можно объединить в одно уравнение второго порядка, но не для скалярного поля, а для частиц Ферми с лагранжианом:

$$L=-\frac{1}{2m}\sum_{\mu\rho}\frac{\partial\varphi}{\partial x_\rho}\gamma^\rho\gamma^\mu\frac{\partial\varphi}{\partial x_\mu}-\frac{m}{2}\bar{\varphi}\varphi.$$

Первое из этих уравнений первого порядка описывает частицу с положительной энергией, которой можно приписать отрицательный электрический заряд $-e$ (электрон). Заполненные состояния с отрицательной энергией образуют вакуум, отрицательный заряд которого имеет бесконечное значение. Свободное состояние этого вакуума ("дырка" в нем) описывает частицу с положительным зарядом (позитрон).

Второе уравнение описывает положительно заряженную частицу в состоянии положительной энергии, и занятые состояния с отрицательной энергией описывают вакуум с бесконечным значением положительного заряда. Свободное состояние этого вакуума – "дырка" – в нем ведет себя как частица, обладающая отрицательным зарядом, – это неразличимый аналог электрона. Таким образом, этой теорией описываются четыре частицы: две частицы e^- (электрон), ее античастица

$\tilde{e}^-(e^+)$ – позитрон и e^+ (аналог позитрона) и $e^+(e^-)$ – ее античастица – аналог электрона. В свете сказанного выше в этой теории полный электрический заряд вакуума равен нулю, но зато в атомах появляются два сорта физически неразличимых между собой электронов и два неразличимых между собой позитрона.

Я написал письмо Паули, в котором обратился к нему с двумя вопросами, связанными с его работами. Мой первый вопрос был вызван одним замечанием Паули. Паули в своей книге, обсуждая выражение для тока в уравнении Дирака, обращает внимание на одно преобразование Гордона, в результате которого компоненты тока Дирака S_μ распадаются на два слагаемых:

$$S_\mu = S_\mu^0 + S_\mu^1; \quad S_\mu^1 = \frac{\hbar}{mc}\sum_\nu \frac{\partial M_{\mu\nu}}{\partial x_\nu},$$

где $M_{\mu\nu} = -M_{\nu\mu} = -\psi^{(+)}\gamma^\mu\gamma^\nu\psi$ представляет собой антисимметричный тензор поляризаций и намагничивания. Здесь Паули пишет: "Замечательно, что

$$\sum \frac{\partial S_\mu^{(1)}}{\partial x_\mu} = 0.$$

Таким образом, $S_\mu^{(0)}$ и $S_\mu^{(1)}$ сами по себе удовлетворяют уравнению непрерывности".

В 1935 г. я с помощью теории групп – точнее, теоремы Нетер – получил (по-видимому, впервые) *все* законы сохранения, сопутствующие уравнению Дирака (тока, энергии, момента вращения, движения центра тяжести). Естественно, возник вопрос: то расщепление закона сохранения тока, которое Паули назвал "замечательным", не является ли частным случаем расщепления всех законов сохранения теории Дирака. Оказалось, что это действительно так.

Инвариантность относительно преобразований

$$x^1 = x^j + \Delta x^j, \quad j = 1,2,3,4,$$

дает четыре уравнения сохранения энергии-импульса. Инвариантность относительно вращения в плоскостях *xt, yt, zt* дает три закона сохранения момента количества движения. Инвариантность относительно вращения в плоскостях *xy, xz, yz* дает обычно не обсуждаемые законы сохранения в движении центра тяжести (см. аналогичные законы в классической электродинамике). Так по аналогии с током Гордона возникли два закона сохранения для тензора энергии-импульса:

$$\sum_{\nu=1}^{4} \frac{\partial \theta_{\mu\nu}}{\partial x_\mu} = -\sum_\nu F_{\mu\nu}S_\nu, \qquad \sum_{\nu=1}^{4} \frac{\partial \partial_{\mu\nu}}{\partial x_\nu} = 0,$$

$$\partial_{\mu\nu} = \frac{i}{2mc}\left[\sum_{\rho\neq\nu} p_\rho\psi^+\gamma^\rho\gamma^\nu p_\mu\psi - p_\mu\psi^+\gamma^\rho\gamma^\nu p_\rho\psi\right] + \delta_{\mu\nu}\lambda/2,$$

$$\lambda = -\frac{i}{mc}\sum\sum_{\mu\neq\rho} p_\rho\psi^+\gamma^\rho\gamma^\mu p_\mu\psi, \qquad S_\nu = S_\nu^l + S_\nu^p.$$

Я помню, что Паули назвал "замечательным фактом" расщепление закона сохранения тока по Гордону на две релятивистски-инвариантных дивергенции, и ждал от Паули продолжения "восторгов" по поводу всех законов. Но восторг Паули к тому времени существенно угас, так как он понял, что расщепление неградиентно-инвариантно, хотя инвариантно релятивистски. Но возражение Паули справедливо для электрона, а как быть в случае, например, нейтрино, где казалось бы, возражение Паули не имеет силы? Однако возражение Паули охладило мои намерения рассмотреть этот вопрос для уравнения для частиц со спином 3/2 и т.д., в частности для целочисленного спина.

В письме от 6 октября 1936 г. Паули пишет: "Что касается Вашего второго вопроса, то я не думаю, что если исходить во вторичном квантовании из уравнения Дирака второго порядка вместо уравнения первого порядка, то можно прийти к теории, отличной от теории дырок".

Более того, на первых порах мне казалось, что можно для позитронного и электронного вакуума запретить образование дырок. Но вскоре я понял, что в этом случае электрон и позитрон не могли бы аннигилировать и в природе существовало бы большое число систем, состоящих из электронов и позитронов наподобие легких атомов водорода.

ПИСЬМО ПАУЛИ

6 октября 1936 г.

Многоуважаемый г. Марков!

Во время моей праздничной поездки меня не оставляли мысли об ответах на вопросы в Вашем письме, касающиеся содержания рукописи Вашей работы.

1. Что касается расщепления тензора энергии-импульса в теории Дирака (по аналогии с расщеплением тока у Гордона), то я придаю физический смысл только градиентно-инвариантным расщеплениям физических величин (в то время как Вы придаете значение только лоренц-инвариантности). Если попытаться разложить обычный тензор энергии-импульса

$$T_{\mu\nu} = \frac{1}{2}[\psi^+\gamma^\nu(\pi_\mu\psi) - (\pi_\mu^+\psi^+)\gamma^\nu\psi],$$

где

$$\pi_\mu = \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial x_\mu} + \frac{e}{c}\Phi_\mu, \quad \pi_\mu^+ = \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial x_\mu} - \frac{e}{c}\varphi_\mu$$

по аналогии с гордоновским разложением, то придем к

$$T_{\mu\nu} = T_{\mu\nu}^0 + T_{\mu\nu}^{(1)},$$

где

$$T_{\mu\nu}^0 = \frac{i}{2mc}\Big[\big(\pi_\nu^+\psi^+\big)\big(\pi_\mu\psi\big) + \big(\pi_\mu^+\psi^+\big)\big(\pi_\nu\psi\big) + \delta_{\mu\nu}(mc)^2\psi^+\psi - \delta_{\mu\nu}\sum_{\rho=1}^{4}\big(\pi_\rho^+\psi^+\big)\big(\pi_\rho\psi\big)\Big],$$

$$T_{\mu\nu}^{(1)} = \frac{i}{4mc}\sum_{\rho=1}^{4}\left[\big(\pi_\rho^+\gamma^+\big)\gamma^{[\mu\nu]}\pi_\mu\psi - \big(\pi_\mu^+\psi^+\big)\gamma^{[\rho\mu]}\pi_\rho\psi - \delta_{\mu\nu}\big(\pi_\rho^+\psi^+\big)\sum_{\sigma=1}^{4}\gamma^{[\rho\sigma]}(\pi_\sigma\psi)\right],$$

где

$$\gamma^{[\mu\nu]} = \frac{1}{2}(\gamma^\mu\gamma^\nu - \gamma^\nu\gamma^\mu) = -\gamma^{[\nu\mu]}.$$

Это разложение, как мне кажется, совпадает с Вашим в отсутствие поля ($\varphi_\mu = 0$).

При этом, однако отдельные части $T^0_{\mu\nu}$ и $T^{(1)}_{\mu\nu}$ не подчиняются никакому простому закону сохранения: сумма же их удовлетворяет формуле $\partial T_{\mu\nu}/\partial x^\nu = F_{\mu\nu}S^\nu$, ничего похожего нет для частей, в частности

$$\partial T^{(1)}_{\mu\nu}/\partial x^\nu \neq F_{\mu\nu}S^{(1)}$$

(где $S^\nu = S^{0\nu} + S^{1\nu}$ – разложение Гордона)*.

Именно к этому относится цитируемое Вами утверждение в "Handbuch der Physik": "Следует отметить, что $\sum\limits_\mu \dfrac{\partial S^1_\mu}{\partial x^\mu} = 0$, так что S^0_μ и S^1_μ удовлетворяют закону сохранения по отдельности".

Рассмотренное Вами расщепление тензора энергии-импульса, в котором отдельные части хотя и удовлетворяют условию дивергенции, но не градиентно-инвариантны.

2. Что касается Вашего второго вопроса, то я не думаю, что если исходить во вторичном квантовании из уравнения Дирака второго порядка вместо уравнения первого порядка, то можно прийти к теории, отличной от теории дырок.

В скалярной теории привлекает то обстоятельство, что в ней плотность энергии положительно определена, тогда как в спинорной теории это не так. Это видно и из выражения для $T^0_{\mu\nu}$, если положить $\psi^+ = i\psi^*\beta$ $(\beta = \gamma^4)$ β имеет собственные значения $+1, +1, -1, -1$.

Можно обобщить скалярную теорию, развитую мною и Вайскопфом, на частицы с целочисленным спином (не равным нулю), переходя от скалярной к векторной или тензорной теориям (сохранив положительно определенность плотности энергии). Я, правда, не знаю, насколько однозначно**.

Я также рассмотрел вопрос (кратко отмеченный в работе Вайскопфа и моей) о том, возможно ли, хотя бы формально, провести вторичное квантование (релятивистски-инвариантное) с учетом принципа запрета (статистика Ферми); статья по этому поводу должна выйти в "Annales de l'Institute Poincare" (Paris). Оказывается, применение принципа запрета приводит к конфликту с физическими условиями, которые удовлетворяют в случае статистики Бозе.

Итак, еще раз резюмируя: я не вижу, чтобы мое (и Вайскопфа) квантование скалярного релятивистского волнового уравнения в применении к частицам с полуцелым спином дало бы что-либо новое по сравнению с дираковской теорией дырок. (Что означает слово "соответствующая" теория? В некотором смысле современная теория дырок сама есть "соответствующая" теория, учитывающая спин.)

С наилучшими пожеланиями

Ваш *В. Паули*

P.S. Оттиски Вам уже посланы, и я надеюсь, что Вы их получили.

---

* Симметризация $T_{\mu\nu}$ и $T^{(1)}_{\mu\nu}$ не изменяет этих выводов.

** Векторная теория этого типа развита Прока (J. Phys.), который при описании (кратком) не отмечает, что она относится к частицам с целым спином (ср. также последнюю работу Дирака).



Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

ZÜRICH 7, 6. Okt. 36.
Gloriastrasse 35

Sehr geehrter Herr Markow,

Infolge meiner Ferienreise hat sich die Antwort auf Ihre brieflichen Anfragen betreffend den Inhalt des übersandten Manuskriptes Ihrer Arbeit leider etwas verzögert.

1. Was zunächst die Aufspaltung des Energie-Impulstensors der Dirac'schen Theorie betrifft – analog zur Gordon'schen Aufspaltung des Stromes – so habe ich stets nur eichinvariante Aufspaltungen physikalischer Größen von vornherein für physikalisch sinnvoll gehalten (während Sie nur auf die Lorentz-invarianz Wert zu legen scheinen). Versucht man nun den gewöhnlichen Energie-Impulstensor

$$T_{\mu\nu} = \frac{1}{2}\left[\psi^+ \gamma^\nu (\pi_\mu \psi) - (\pi_\mu^+ \psi^+)\, \gamma^\nu \psi\right],$$

worin

$$\pi_\mu = \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial x_\mu} + \frac{e}{c}\varphi_\mu, \quad \pi_\mu^+ = \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial x_\mu} - \frac{e}{c}\varphi_\mu$$

gebildet ist, analog zur Gordon'schen Aufspaltung des Stromes in eichinvarianter Weise zu zerlegen, so kommt man zunächst auf

$$T_{\mu\nu} = T^0_{\mu\nu} + T^{(1)}_{\mu\nu},$$

wobei

$$T^{0}_{\mu\nu} = \frac{i}{2mc}\Big[(\pi^+_\nu \psi^+)(\pi_\mu\psi) + (\pi^+_\mu\psi^+)(\pi_\nu\psi) + \delta_{\mu\nu}(mc)^2\psi^+\psi - \delta_{\mu\nu}\sum_{\rho=1}^{4}(\pi^+_\rho\psi^+)(\pi_\rho\psi)\Big]$$

$$T^{(1)}_{\mu\nu} = \frac{i}{4mc}\sum_{\rho=1}^{4}\Big[(\pi^+_\rho\psi^+)\gamma^{[\rho\nu]}\pi_\mu\psi - (\pi^+_\mu\psi^+)\gamma^{[\rho\nu]}\pi_\rho\psi - \delta_{\mu\nu}(\pi^+_\rho\psi^+)\sum_{\sigma=1}^{4}\gamma^{[\rho\sigma]}(\pi_\sigma\psi)\Big]$$

mit $\gamma^{[\mu\nu]} \equiv \frac{1}{2}(\gamma^\mu\gamma^\nu - \gamma^\nu\gamma^\mu) = -\gamma^{[\nu\mu]}$

Diese Zerlegung scheint nur im kräftefreien Fall ($\varphi_\mu = 0$) mit der Theorie übereinzustimmen.

Nun zeigt sich aber, daß die einzelnen Teile $T^0_{\mu\nu}$ und $T^{(1)}_{\mu\nu}$ keinen einfachen Erhaltungssätzen genügen: während der ganze $T_{\mu\nu}$ dem Satz $\frac{\partial T_{\mu\nu}}{\partial x^\nu} = F_{\mu\nu} s^\nu$ genügt, gilt nicht aber ähnliches für die Teile, insbesondere ist $\frac{\partial T^{(1)}_{\mu\nu}}{\partial x^\nu} \neq F_{\mu\nu} s^{(1)\nu}$ [wobei $s^\nu = s^{0\nu} + s^{1\nu}$ die Gordon'sche Zerlegung sein soll]. (*)

Darauf bezieht sich mein von Ihnen zitierter Satz im Handbuch der Physik: „Es ist bemerkenswert, daß $\sum \frac{\partial s'_\mu}{\partial x_\mu} = 0$, so daß s^0_μ und s'_μ für sich die Kontinuitätsgleichung befriedigen."

Dagegen habe ich die von Ihnen betrachtete Aufspaltung des Energie-Impulstensors, bei welcher die einzelnen Teile Divergenzgleichungen befriedigen, wegen des Nicht-vorhandenseins der Eichinvarianz nicht in Betracht gezogen. (in der Gordon'schen Zerlegung des Stromes natürlich erfüllt)

(*) Die Symmetrisierung von $T_{\mu\nu}$ und $T^{(1)}_{\mu\nu}$ nach Tetrode würde an diesem Ergebnis nichts ändern.

II



Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

ZÜRICH 7, ...
Gloriastrasse 35

2. Was Ihre zweite Frage betrifft, so glaube ich nicht, daß man, wenn bei der zweiten Quantisierung die Dirac'sche Gleichung zweiter Ordnung statt der von erster Ordnung als Ausgangspunkt genommen wird, zu einer von der jetzigen Löchertheorie verschiedenen Theorie kommen kann.

Was mir an der skalaren Theorie besonders reizvoll war, war der Umstand, daß dort die Energiedichte positiv definit ist, während hingegen in der Spinortheorie das nicht so ist. – Auch bei dem Ausdruck für T^0_{44} (s. oben vorige Seite) ist es nicht der Fall, da nach der Substitution $\psi^+ = i\psi^*\beta$ ($\beta = \gamma^4$) die Matrix β (mit den Eigenwerten +1, +1, −1, −1) es verdirbt.

Eine Verallgemeinerung der skalaren Theorie von Weisskopf und mir auf Teilchen mit ganz-zahligem (aber von Null verschiedenem) Spin, also Übergang von einer skalaren zu einer Vektor- oder Tensortheorie, ist ohne weiteres möglich (auch so, daß die Energiedichte positiv bleibt); ich weiß allerdings nicht, ob in eindeutiger Weise.*) Der Spinorfall (zweideutige Darstellungen der Drehgruppe, halbzahliger Spin) scheint sich aber von diesem wesentlich verschieden zu verhalten.

Andrerseits habe ich der (in der ursprünglichen Arbeit von W. u. mir nur kurz berührten) Frage, ob in der skalaren Theorie (Teilchen ohne Spin) auch eine Quantisierung gemäß dem Ausschließungsprinzip (Fermi-Statistik) wenigstens formal (in relativistisch invarianter Weise) möglich wäre, eine besondere Untersuchung gewidmet, die schon mit einigem.

*) Eine Vektor-Theorie dieser Art hat Proca (Journ. de Phys.) kürzlich aufgestellt, nebenbei bemerkt (aber zu betonen), daß seine Gleichungen Teilchen mit ganz-zahligem Spin entsprechen. – Vgl. auch Dirac's letzte Arbeit in den Proc.

Seit ein neues Annales de l'Institut Poincaré, Paris, erscheinen soll.
Es zeigt sich, daß man bei Annahme des Ausschließungsprinzips
in der Tat mit vernünftigen physikalischen Forderungen in Konflikt
käme, die im Falle der Bose-Statistik erfüllt sind.

Nun also nochmals zu [illegible]: Ich sehe nicht, daß die [illegible] (meine) Quantisierung der skalaren rel. Theorie (im Falle der Teilchen mit halbzahligem Spin) gegenüber der Dirac'schen Löchertheorie zu etwas Neuem führen könnte. (Was heißt da überhaupt präzise: eine „entsprechende" Theorie? Im gewissen Sinne ist nämlich auch die jetzige Löchertheorie selbst eine „entsprechende" Theorie mit Berücksichtigung des Spins)

Mit den besten Grüßen
Ihr ergebener
W. Pauli

P.S. Der erbetene Sonderdruck ist bereits vor den Ferien an Sie geschickt worden und ich hoffe, Sie haben ihn erhalten

В своем письме Паули также сообщает, что его попытка квантовать скалярное поле с учетом принципа запрета (статистики Ферми) приводит к противоречию. Исторически интересно и замечание Паули относительно тогда появившегося уравнения Прока – что это уравнение написано не для электрона, как полагал Прока, а для частиц со спином единица. В общем из письма Паули видно, что к тому времени он полностью смирился с уравнением Дирака. А в последующие годы я продолжал экспериментировать (работать) с уравнением Дирака второго порядка, но уже пытаясь описать с помощью этого уравнения или эквивалентной ему системы уравнений первого порядка (1) и (2) электрон и μ-мезон. Уравнения (1) и (2) можно записать в форме одного восьмикомпонентного уравнения Дирака. Можно исходить из уравнений (1) и (2) с самого начала с массами электрона и μ-мезона, не равными друг другу: $m_e \neq m_\mu$. Можно полагать, что разница в массах возникает лишь в результате взаимодействия с каким-то полем, нарушающим прежнюю симметрию. Но главное в этой теории то, что если электрон e^- является частицей, а позитрон – "дырка" в вакууме, то в случае μ-мезона автоматически μ^+

является частицей, а μ^- – дырка в соответствующем вакууме. Другими словами, эта теория автоматически содержала гипотезу (Конопинского–Махмуда, Зельдовича, Маркса), согласно которой e^- – частица, поэтому запрещены распады $\mu^- \to e^- + \gamma$, γ – фотон. В этой теории, естественно, возникают два различных нейтрино: ν_e – электронное и ν_μ – мезонное. Мне казалось, что имеются основания повторить в случае наличия двух уравнений Дирака (1) и (2) известную фразу Дирака, сказанную им по поводу возможного существования в природе магнитного монополя: "Было бы странно, если бы природа не использовала бы эту возможность..." Но решающий удар по этой, на мой взгляд, очень естественной схеме, от которого я до сих пор не могу оправиться, – это открытие τ-мезона и третьего нейтрино – τ-нейтрино... Правда, все можно записать одним уравнением Дирака первого порядка с матрицами 12-го порядка, но я пока не вижу каких-либо симметрий, которые такую запись делали бы целесообразнее тех симметрий, которые меня привлекали в восьмикомпонентном уравнении Дирака.

Хидеки Юкава в своей книге "Лекции по физике" (М., 1981) характеризовал Паули как человека "с плохим характером". Мои, правда немногочисленные и кратковременные, встречи с Паули оставили впечатление скорее противоположное – Паули оказался очень контактным, внимательным и благожелательным.

Впервые я увидел Паули в Италии на конференции по физике элементарных частиц (Пиза, 1955 г.). Он всегда был окружен толпой молодых, уже становящихся известными в науке физиков-теоретиков, и его специфическое "утробное" похохатывание несколько грузноватого человека часто раздавалось в этой толпе. На конференции делал доклад Э. Шредингер о возможной массе покоя у фотона. Аудитория плохо слушала оратора, была, на мой взгляд, неприлично шумна, и сам докладчик, казалось, смущался не очень популярной темы своего сообщения. Поведение аудитории можно было понять в том смысле, что, мол, раньше выступления Шредингера касались злободневных вопросов физики, а теперь на старости лет он занялся какой-то патологией.

Сообщение Гейзенберга касалось его нелинейного уравнения для "праматерии" Ферми. Паули не делал никаких замечаний по поводу этих докладов. По окончании заседания я спросил у Паули его мнение по поводу нелинейного уравнения Гейзенберга, и Паули, похлопав по плечу Гейзенберга, сказал примерно такие слова: "Сколько раз я говорил Вернеру, чтобы он бросил заниматься этой чепухой".

Как-то в перерыве между заседаниями я сообщил Паули об отрицательных результатах опытов Б. Понтекорво в попытках зарегистрировать одиночное рождение Λ-частиц на ускорителе протонов в Дубне. Ускоритель давал, казалось бы, очень удобную возможность для этого эксперимента, так как энергия ускоренных в нем протонов была недостаточна для совместного рождения Λ- и K-частиц.

Паули сказал, что, по-видимому, Гелл-Манн может ответить на этот вопрос. Паули подозвал Гелл-Манна, и тот подтвердил, что действительно может объяснить этот результат. В это время к нашей группе подошел, кажется, Лоу и, дружески ткнув пальцем в грудь Гелл-Манна, с добродушной иронией произнес: "Ты, конечно, все можешь объяснить..." И Гелл-Манн действительно объяснил

отрицательный результат опыта Понтекорво на основании только что введенного им понятия "сохранения странности".

В Италии имеются геотермальные водные источники, на основе которых работали химические заводы. Владелец этих заводов, будучи меценатом, пригласил нескольких участников Пизанской конференции посетить его предприятие. В машине Паули пригласил меня сесть рядом с ним. Кроме общих обсуждений продолжавшейся конференции по проблемам элементарных частиц, скептических высказываний о нелинейном уравнении Гейзенберга, Паули очень интересовался Ландау. Особо спрашивал, есть ли у Ландау дети. По одной работе Ландау (кажется, это была проблема "заряд-нуль") Паули несколько раз, раздумывая, произнес: "По-видимому, Ландау прав... Ландау прав..."

На этом приеме Паули взял нечто вроде шефства надо мной. На вопрос хозяина, кому какие нужны переводчики, Паули, опередив меня, сказал: "А ему нужен английский... Говорит он по-английски плохо... но понимает". Во время обеда Паули сидел рядом с хозяином завода, а мое место было между Паули и женой Амальди. Жена Амальди вспомнила о Понтекорво, о его хорошей игре в теннис, и поставила меня в тупик вопросом, что значит по-английски русская фраза "душа-человек". Я как-то попытался объяснить ей. Напротив нас сидела жена американского физика Шайна – специалиста по космическим лучам. Она меня спросила, где я изучал английский язык. Паули, похлопав меня по плечу, сказал: "А по-моему, он вообще не изучал английский язык". К сожалению, он был прав – в наших школах в 20-е годы были популярны немецкий и французский языки.

Последний раз я видел Паули на Рочестерской конференции по физике высоких энергий (США, 1956 г.), незадолго до его кончины. Во время моего разговора с Венцелем Паули подошел и сказал, что ему надо поговорить со мной, но надо, чтобы Ватагин был переводчиком. Венцель заметил, что он со мной разговаривал по-английски. Паули, махнув рукой, произнес: "А я знаю, как он говорит по-английски". Вскоре был найден Глеб Ватагин, и мы продолжили разговор вчетвером. Паули интересовала та обстановка, которая сложилась у нас в стране в 40-е и в начале 50-х годов, когда критиковалась квантовая механика и теория относительности и их создатели – Бор и Эйнштейн. В разговоре упоминались и имена некоторых физиков, которые принимали в этом участие. Помню, что Венцель задал вопрос: "Ведь они хорошие ученые – может ли хороший ученый так поступать?" Паули после некоторого раздумья сказал лишь одно слово: "Может".

Зная характер Паули, я думал, что он будет критически отзываться о научных докладах на конференции – он же просто уклонился от их обсуждения. Я боялся спрашивать его мнение о моем докладе – мне казалось, что тема моего доклада должна быть чужда его научному мировоззрению[1]. Я сказал ему об этом. Паули ответил одной фразой: "No, very nice speculation..."[2] . Мне показалось, что это не было простой вежливостью.

[1] Мой доклад был на тему "О составной модели странных частиц".

[2] Нет, очень приятное рассуждение.

О "вежливости" Паули ходили анекдоты. Р. Паерлс мне рассказывал, что когда он был молодым, Паули присутствовал как-то на одной лекции Эйнштейна, которую аудитория не воспринимала. После окончания лекции, спускаясь с верха аудитории к группе, продолжавшей обсуждение доклада Эйнштейна, почесав затылок, Паули произнес: "Это, может быть, и не так глупо – то, что говорил Эйнштейн".

На конференции 56-го года Паули выглядел бодрым, здоровым, и, казалось, ничто не предрекало его близкой кончины.

P.S. Недавно, разбирая получаемые мной оттиски работ, я обнаружил работу двух югославских авторов (J. Brana, K. Ljolie. Fizika. 1980. Vol. 12, N 4. P. 237–319). Данная работа является обзором предыдущих четырех работ авторов. Авторы утверждают, что рассматриваемые мной системы уравнений (1) и (2) для частиц с положительной и отрицательной массами в квантовой области представляют собой описание скалярного биспинора со спином 1/2 со статистикой Бозе. Утверждение авторов неожиданное, далеко идущее, если оно справедливо. Пока я не успел критически проанализировать выводы авторов.

Напомню, что в письме Паули сообщается о противоположной, но неудачной попытке Паули и Вайскопфа проквантовать скалярное уравнение с применением принципа Паули.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Паули В.* Общие принципы волновой механики. М.: ОГИЗ, 1947. (*Pauli W.* Handbuch der Physik. B., 1933).

2. *Pauli W., Weisskopf V.* // Helv. phys. acta. 1935. Vol. 7. P. 709.

СЕСИЛ ПАУЭЛЛ*

Впервые я увидел и услышал С. Пауэлла на Пизанской конференции (1955 г.), посвященной физике элементарных частиц, где он прочел блестящую лекцию по физике космических лучей. Лекция его искрилась остроумными шутками, видно подготавливалась с большой тщательностью и заранее предполагала внимательную и благодарную аудиторию. Как я узнал позже, в эти дни начинался его "Соббатик иа" – целый год отдыха, часто сопровождавшийся странствованием по миру, начинался именно с приготовленной лекции.

Свою лекцию, как помнится, он начал с вопроса: "Почему я выбрал для лекции эту тему?" И тут же ответил: "Во-первых, я кое-что в этом понимаю..." Здесь была небольшая пауза, в течение которой фраза достигала аудитории. Аудитории было известно, что Пауэлл – лауреат Нобелевской премии: именно в космических лучах им был открыт так называемый π-мезон. Фраза "я кое-что в этом понимаю" произносилась с такой располагающей непосредственной хитринкой и такой хорошей душевной открытостью, которые сразу покоряли аудиторию.

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 29–32.

Непосредственные встречи и беседы с профессором Пауэллом состоялись вскоре в Лондоне на широком приеме в нашем посольстве. В это время в преддверии Женевской конференции по мирному использованию ядерной энергии мы раскрыли секреты нашей атомной техники: стали известны системы наших реакторов, в том числе на первой в мире атомной станции, а также сообщили о работающем протонном ускорителе Дубны, о подготавливаемом пуске дубнинского протонного ускорителя на 10 ГэВ, к тому времени самого большого в мире. Для запада это был ошеломляющий каскад научно-технических новостей, который вызвал большое удивление и не всегда однозначные реакции. Так, один из американских физиков задал, видимо, по его мнению, каверзный вопрос одному из членов нашей делегации: "Почему ваши реакторы так похожи на наши американские?" Проф. Блохинцев на вопрос ответил вопросом: "Почему ваши американские лошади так похожи на наших советских?"

В лондонских беседах Пауэлл с большой страстностью обрушился с критикой экспериментальных работ наших физиков братьев Алихановых, утверждавших, что будто ими открыт в космических лучах целый новый класс элементарных частиц, названных ими варитронами. Критика Пауэлла этих работ для меня была не нова, так как они подвергались уже жестокой критике в нашей стране школой акад. Скобельцына, и проф. Пауэлл нашел во мне подготовленного слушателя и естественного сообщника. Расправившись с братьями Алихановыми, проф. Пауэлл мгновение молчал, но в то же время, помнится, мне показалось, что он, колеблясь, хотел задать какой-то вопрос. И я не ошибся.

"Я бы хотел Вас спросить... если это можно... Вы ведь работаете в Дубне. Нельзя ни на вашем огромном ускорителе облучить мои фотопластинки?.."

Известно, что с помощью фотопластин, облученных в космических лучах, он сделал свои открытия π-мезонов. Я повторил уже известную информацию о том, что ускоритель построен, но еще не работает... Пауэлл как-то скучно выслушал уже знакомую ему информацию, но тут же с характерной для него добродушной и доверительной хитринкой повторил свою просьбу: "А может быть, можно... А?" Я понял, что неожиданный шквал сообщений о научно-технических новинках из нашей страны породил такую атмосферу предположений о еще не раскрытых секретах, которая вызвала и вопрос Пауэлла.

Казалось, что в это время любая самая неожиданная и фантастическая научно-техническая новость из Советского Союза выглядела бы убедительной.

Второй раз ту же лекцию Пауэлла о космических лучах я слушал в Физическом институте Академии наук в Москве. Это было точное повторение его блестящей лекции в Пизе. Те же шутки, те же остроты, то же интересное содержание. Видимо, некоторую озабоченность или неудобство вызвало у лектора мое присутствие в аудитории, присутствие в аудитории человека, который уже раз слушал его лекцию. Может быть, мне показалось, что нечто такое выражалось в его взглядах в мою сторону.

Третий раз, спустя несколько дней, я неожиданно для себя оказался на его же лекции в университете. Меня пригласил проф. Д.Д. Иваненко, сказав, что "будет интересный разговор с проф. Пауэллом". После лекции проф. Пауэлл со свойственным ему выражением легкого юмора спросил меня, сколько раз я собираюсь

слушать его одну и ту же лекцию. Я ответил, что готов тысячу раз слушать его одну и ту же лекцию, но, по-видимому, случай ограничил тремя. Но я оказался не прав...

В январе следующего года я в составе делегации Академии наук присутствовал на национальном празднике Индии. По программе моя лекция следовала непосредственно за той же лекцией Пауэлла по космическим лучам. Пауэлл закончил свою лекцию словами: "А теперь мой коллега из Советского Союза продолжит рассказ об элементарных частицах". Мне казалось, что эта странная игра судьбы должна же когда-нибудь кончиться. Но судьба судила иначе. Руководитель нашей делегации академик Топчиев просил меня созвониться с известным индийским ученым профессором Раманом и выяснить возможности нашего посещения его института. Раман назвал какой-то ближайший день, и мы, естественно, воспользовались его приглашением. Он любезно нас встретил, заметил, между прочим, что в настоящее время у него находится в аудитории интересный гость: "Он сейчас начнет свою лекцию". Профессор Раман открыл дверь в аудиторию, вернее, на сцену, на которой стоял Пауэлл. Тот посмотрел на нас и произнес только одно слово: "Опять!..", сопроводив его трагикомическим жестом. Но на этот раз из лекции исчезли все его прежние остроты. Оглядываясь на нас, он совершенно перестроил свою лекцию, и она приобрела форму блестящей беседы.

Окончив лекцию, профессор Пауэлл обратился ко мне с вопросом, не собираюсь ли я преследовать его и в Японии, куда он должен был ехать после Индии. Я сказал, что действительно собираюсь ехать туда по приглашению профессора Хидеки Юкавы. Но встреча в Японии уже не состоялась. В Индии Пауэлл с женой практически влился в состав нашей делегации, и мы проделали многодневную совместную автомобильную поездку по дорогам этой удивительной страны. Жена Пауэлла Изабел оказалась очень приятной, веселой и контактной молодой женщиной, пожалуй, не в стиле общепринятых понятий, сложившихся у нас об "английской леди". Она весело поправляла наш английский язык, подчеркивая, что говорить по-английски надо с открытым ртом, а слово "beautiful" нельзя употреблять, говоря о пище. Сидя в автомашине, мы часто пели русские и английские песни. Однажды в одной из поездок по дорогам глухих джунглей передовая машина нашего кортежа, в которой я находился вместе с Пауэллами, почему-то заглохла и остановилась, за ней встали все остальные машины нашей делегации.

Старые, разбитые американские машины и, видимо, малоквалифицированные, растерявшиеся водители явно обещали нам ночевку в джунглях. Время от времени уже раздавались какие-то звуки их обитателей. Водитель, пожав плечами, вяло и неуверенно копался в раскрытом капоте машины. В этот критический момент вдруг Изабел задает, казалось бы, никчемный вопрос: "А есть ли бензин?" Сама пошла проверить: оказалось, что бензина в машине действительно нет. Перелив бензин из других машин, мы уже в хорошем настроении двинулись дальше. Весело обсуждали этот случай и благодарили Изабел за простую догадку.

Несколькими годами позже я был потрясен, узнав о внезапной смерти С. Пауэлла где-то в одной из восточных стран.

Спустя четверть столетия (1988 г.) у меня был случай посетить Бристольский университет, где с большой тщательностью хранится память о профессоре

С. Пауэлле, много лет работавшем в этом университете. Мне удалось вместе с профессором Д. Ходжкинсом, другом семьи Пауэлл, встретиться с его женой. К сожалению, Изабел некоторое время тому назад перенесла инсульт и нацело потеряла память о прошлых событиях. Мои попытки воспроизвести события нашей совместной поездки по дорогам Индии не удались. С большой горечью я вспоминаю об этом.

ШОИЧИ САКАТА*

В январе 1956 г. я присутствовал на научной конференции в Индии по случаю индийского национального праздника. Мой доклад "О систематике элементарных частиц" следовал непосредственно после доклада С. Пауэлла, посвященного близким вопросам, как это упоминается в моем очерке[1]. С. Пауэлл планировал после своего пребывания в Индии поездку в Японию. Будучи в Японии, С. Пауэлл рассказал Ш. Сакате о содержании моего доклада, которое, как ему казалось, близко к только что законченной работе Сакаты, посвященной также систематике частиц. Вскоре Ш. Саката прилетел в Москву, чтобы, как он мне объяснил, выяснить, насколько моя работа, о которой он узнал от Пауэлла, совпадает с его работой.

В результате наших бесед и знакомства Ш. Сакаты с текстом моей статьи в его опубликованной работе "О сложной модели новых частиц" [6] появилось примечание:

«3) Markov (Rep. Acad. Sci. USSR, 1955) proposed also a composite model which is very similar to ours. It should be remarked that our model may be considered as a generalization of the π-meson model proposed by Fermi and Yang (Phys. Rev. 1948. Vol. 76. P. 1739) and that it will throw a new light on Heisenberg Theory of elementary particles (Nature. 1954. Vol. 9a; 1955. Vol. 10a. P. 425) in which only one kind of "Urmaterie" is assumed»[2].

Моя работа [3], о которой идет речь в примечании Сакаты, также является обобщением идеи Ферми–Янга[3] и также была связана с надеждами на четырехфермионные взаимодействия, обещавшими, в частности, в предложенном Гейзенбергом нелинейном уравнении для фермионной "первоматерии" выдать спектр элементарных частиц. Это было короткое время увлечения нелинейным уравнением Гейзенберга до такой степени, что, помнится, Ландау считал, что с появле-

---

* Размышляя о физиках… о физике… о мире. М.: Наука, 1993. С. 32–36.

[1] См. очерк "Сесил Пауэлл" (с. 421–424). – *Примеч. сост.*

[2] Марков (Докл. АН СССР, 1955) предложил также некоторую составную модель, которая очень тождественна нашей. Следует напомнить, что наша модель может быть рассматриваема как обобщение модели π-мезона, предложенной Ферми и Янгом, и что она бросает новый свет на гейзенберговскую теорию, в которой предполагается существование одного вида "первоматерии".

[3] Истины ради, может быть, следует напомнить, что модели π^0-мезона Ферми–Янга предшествовала модель Венцеля, в которой π^0-мезоны рассматривались как составные частицы, состоящие из двух μ-мезонов.

нием уравнения Гейзенберга теоретическая физика кончается. Почти смертельный удар контактному четырехфермионному взаимодействию нанесло открытие промежуточного бозона в известных слабых взаимодействиях, т.е. экспериментальное открытие, утвердившее возникшую ранее теорию слабых взаимодействий как второй порядок взаимодействия трехчастичных по аналогии с электродинамикой. В предыдущей фразе содержится слово "почти". Дело в том, что остается в силе общее утверждение, что любую частицу со спином больше $^1/_2$ в принципе можно составить из ферми-частиц со спином $^1/_2$. И в принципе нельзя исключить, что "первоматерия" является ферми-полем со спином $^1/_2$. В принципе не исключено, что на каком-то уровне структуры материи может возникать даже и истинное контактное четырехфермионное взаимодействие... Мы знаем, что в истории физики часто оживают идеи прошлого. В это время в зарубежной литературе упоминались в основном три варианта модели сложного строения известных в то время барионов. Модель Гольдхабера, в которой нуклоны, пионы и K-мезоны предполагались фундаментальными частицами, а гипероны и другие мезоны рассматривались как составные. Я предлагал рассматривать нуклоны и гипероны как фундаментальные частицы, а пионы и тяжелые мезоны как составные. Согласно Сакате, нуклоны (N) и Λ-частицы (Λ) предполагаются фундаментальными частицами и пионы и другие тяжелые нестабильные частицы рассматриваются как составные, построенные из соответствующего числа и их античастиц [6].

Работа Сакаты докладывалась Кобой на шестой Рочестерской конференции после моего сообщения. В трудах этой конференции сказано: "Koba stated that a model similar to Markov's has been proposed by Sakata in Japan and is now extensively studied by him and his coworkers"[4] (Proc. of the Sixth Annual Rochester Conference. April 3–7, 1956. VIII. P. 33).

В популярной книге Л.Б. Окуня [4] обсуждается только модель Сакаты, которая подкупила автора своей известной законченностью. Правда, в этой первоначальной модели не предполагалось существование Σ-гиперона.

Во время моего пребывания в Японии осенью 1960 г. я читал лекции в Нагое по приглашению Сакаты. Тогда выяснилось, что модель Ферми–Янга (рассматривать π-мезоны как составную частицу из нуклона и антинуклона) в рамках четырехфермионных взаимодействий с помощью уравнения Бете–Сальпетера подробно исследовалась сотрудником Сакаты Зиро-Маки[5]. Я мог сообщить Сакате, что в моей группе (в Дубне) аналогичная работа была выполнена И. Полубариновым. Она подробно изложена в моей книге "Гипероны и K-мезоны". Полубаринова Саката называл русским Зиро-Маки. Во время моих встреч с Сакатой было много бесед, главным образом по философским проблемам физики. Размышлениям по ряду этих проблем Саката уделял много времени. Помнится, одна из его статей была напечатана в журнале "Вопросы философии".

Саката неожиданно рано ушел из жизни.

---

[4] Коба утверждал, что модель, схожая с моделью Маркова, была предложена Сакатой в Японии и в настоящее время интенсивно изучается им и его коллегами.

[5] Зиро-Маки после Юкавы стал директором "Юкава Холл".

В конце одного моего пребывания в Японии буквально за час до отъезда мне позвонила по телефону жена Сакаты. Она сказала, что случайно узнала о моем пребывании в Токио, очень хотела бы меня видеть. Встреча состоялась. При встрече она сказала, что решила меня повидать, так как Саката "часто вспоминал о Вас и рассматривал Вас как человека, очень близкого ему по своим научным направлениям и научному мировоззрению". На память она подарила мне фотографию надгробия Сакаты.

Очень поучительно с исторической точки зрения рассмотреть ситуацию о составных моделях обсуждавшихся выше частиц, скажем, "двадцать лет спустя". В книге Л.Б. Окуня "Физика элементарных частиц" (1984 г. – именно двадцать лет спустя) нет даже упоминания имени Сакаты, которому в предыдущей книге было отведено значительное место.

В принципе осталась идея составных моделей частиц, но элементы, из которых строятся адроны, совсем другие – это кварки. Получается опять в известном смысле стройная схема. Но эта схема (модель) требует понимания еще непонятного механизма удержания кварков в составе частиц, природы новых для физики восьмивекторных полей (клея, которым склеиваются кварки), которые, в сущности, увеличивают на восемь число элементарных частиц; наконец, фундаментальные требования к эксперименту: необходимость экспериментального обнаружения хиггсовских бесспиновых бозонов.

Положительное решение этих проблем будет большим успехом физики микромира. Неудачи же поставят всю обсуждаемую схему в тяжелое положение.

P.S. В заключение возникает, естественно, вопрос: что же осталось от твоей личной научной деятельности в обозреваемый период, кроме естественного участия в развитии идей и концепций, характерных для данного отрезка исторического пути в развитии науки о строении материи? Как часто бывает: немного.

Следует напомнить, что в моей модели составных частиц гипероны рассматриваются как возбужденные состояния нуклонов. Для описания возбужденных состояний привлекалась модель релятивистского четырехмерного осциллятора. Следует напомнить, что модель осциллятора привлекалась еще Томсоном для описания структуры атома...

Существовало много попыток использовать четырехмерный релятивистский осциллятор в физике элементарных частиц [3]. Но к тому времени еще не была решена задача математического изгнания "духов" из получаемого из уравнения для релятивистского осциллятора выражения для спектра масс описываемых ими частиц. Дело в том, что спектр масс в системе покоя частиц дается выражением[6]

$$\lambda = m_0 + 2a(n_1 + n_2 + n_3 - n_0 + 1),$$

что приводит к бесконечному вырождению основного состояния:

$$n_1 + n_2 + n_3 - n_0 = 0.$$

[6] Вводимые ранее рядом авторов добавочные условия, изгонявшие "духов", как правило, оказывались несовместимыми с основным уравнением.

Для уравнения $L\psi = 0$

$$\left\{i\gamma_\mu k_\mu + m_0 + a\left(-\frac{\partial^2}{\partial\xi_\mu \partial\xi_\mu} + \xi_\mu \xi_\mu\right)\right\}\psi = 0,$$

где k_μ – импульс "центра тяжести" частицы (некоторого облака), ξ_μ – координата элемента облака относительно его центра тяжести. Нами найдено дополнительно условие $M\psi = 0$, где

$$M = k_\mu \xi_\mu - k_\mu \frac{\partial}{\partial\xi_\mu},$$

которое коммутирует с оператором L в виде

$$[LM] = 2M$$

и зануляет упомянутое выше условие. Оно представляет некоторые неудобства для введения поля, взаимодействующего с частицей.

Поэтому нами было предложено также уравнение в виде

$$\left\{i\gamma_\mu k_\mu + m_0 + a\left(-\frac{\partial^2}{\partial\xi_\mu \partial\xi_\mu} + \xi_\mu \xi_\mu + 2\frac{\left(k_\mu \frac{\partial}{\partial\xi_\mu}\right)^2 - (k_\mu \xi_\mu)^2}{k_\mu k_\mu}\right)\right\}\psi = 0$$

без дополнительного условия со спектром масс в системе покоя

$$Mn_1 n_2 n_3 n_0 = m_0 + 2(n_1 + n_2 + n_3 + n_0 + 2).$$

Пятнадцать лет спустя проблема изгнания "духов" из модели четырехмерного осциллятора повторяется в статье Вирасоро [7], озаглавленной "Дополнительные условия для духов в дуально-резонансных моделях". В резюме статьи говорится: "На языке четырехмерных гармонических осцилляторов мы нашли дополнительное условие для каждой моды осцилляций". Надо ли упоминать о том, что в современной теории релятивистские струны, с которыми еще связываются большие надежды, представляют собой структуру из бесконечного числа осцилляторов, и проблема удаления обсуждаемых "духов" для них имеет существенное значение. Напомним, что осцилляторная модель нами использована только для описания барионов. Что касается электрона, то к тому времени, вернее, еще ранее, у меня возникли соображения о том, что проблема электрона (вернее, его массы) представляет собой проблему, совершенно отличную от проблемы барионных масс. Более того, возникло понимание того, что проблема массы электрона не может быть даже решена в рамках электродинамики. Эти соображения кратко изложены в заметке, посвященной критике предельного λ-процесса Дирака [1]. В конце заметки говорится:

«При рассмотрении элементарных частиц, вследствие малости гравитационных эффектов, последние обычно не принимаются во внимание в квантовой теории. Но, как показал Вайскопф, собственная электростатическая энергия электрона в теории Дирака расходится логарифмически и масса электростатического поля становится равной массе электрона лишь на длинах порядка величины ~ 10^{-70} см. Эта "критическая длина" значительно меньше гравитационного радиуса электрона (~ 10^{-55} см). При таком рассмотрении гравитационные эффекты должны быть приняты во внимание последовательным образом и могут оказаться решающими для обсуждаемых трудностей».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1947. Т. 17, вып. 9. С. 69.
2. *Марков М.А.* О систематике элементарных частиц. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
3. *Марков М.А.* // Докл. АН СССР. 1955. Т. 101, № 1. С. 54.
4. *Окунь Л.Б.* Слабое взаимодействие элементарных частиц. М.: Физматгиз, 1963.
5. *Matumoto K.* // Progr. Theor. Phys. 1956. Vol. 16. P. 383.
6. *Sakata Sh.* // Ibid. P. 686.
7. *Virasoro M.A.* // Phys. Rev. D. 1970. Vol. 1. P. 2933.

ХИДЕКИ ЮКАВА*

Может быть, это не очень скромно, но я, излагая свои воспоминания о Хидеки Юкаве, не могу уйти от соблазна напомнить об одном интервью Юкавы, данном корреспонденту Радунской накануне празднования 250-летия Академии наук СССР [3]. На вопрос: "Кто из советских физиков ближе к идеям Юкавы?" Юкава ответил: "Особенно мне близки глубокие работы советского академика М.А. Маркова. Он видит теорию элементарных частиц в том же свете, что и я. Наши точки зрения совпадают".

Статья Радунской озаглавлена: "Созвучие разумов". Это замечание Юкавы требует расшифровки. Дело в том, что в 1940 г. я опубликовал работу[1], в которой предлагалась некоммутативность координаты источника поля x_μ и самого поля. Например, скалярное поле $\varphi(x)$ и координата источника поля x_μ не коммутируют по закону

$$[x_\mu \varphi] = i r_\mu \varphi, \quad \mu = 1, 2, 3, 4,$$

где r_μ – некоторый новый вектор "малой длины". Имея в виду, что когда x_μ становится порядка r_μ, неточности положения источника Δx_μ и значения поля $\Delta\varphi$ свя-

---

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 37–47.

[1] Имеется в виду статья «О "четырехмерно протяженном" электроне в релятивистской квантовой области» (см. т. I настоящего издания, с. 80–116). – *Примеч. сост.*

зываются соотношением $\Delta x_\mu \Delta\varphi \sim r_\mu \varphi$, т.е. неточность в значении поля достигает значения самого поля, оцениваемого по классике. Цитируя эту работу, Юкава [7] делает замечание: "Non-localizable fields were first considered by Markov"[2].

В дальнейших своих работах, посвященных теории нелокализуемых полей [9, 10] Юкава использует дважды предложенный мною закон некоммутативности координаты источника поля и самого поля в виде

$$[x_\mu[x^\mu u]] + \lambda^2 u = 0, \text{ где } \lambda^2 = r_\mu r^\mu. \qquad (1)$$

Обращает на себя внимание то, что вместе с известным выражением некоммутативности импульса и координаты

$$[p_\mu[p^\mu u]] + m^2c^2u = 0 \qquad (2)$$

уравнения (1) и (2) представляют собой формулировку борновского принципа взаимности (reciprosity).

Далее Юкава объединяет уравнения (1) и (2) в систему уравнений

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x_\mu \partial x^\mu} - \varkappa^2\right) u(x_\mu, r_\mu) = 0,$$

$$(r_\mu r^\mu - \lambda^2) u(x_\mu, r_\mu) = 0,$$

где

$$x_\mu = \tfrac{1}{2}(x'_\mu + x''_\mu); \quad r_\mu = (x'_\mu - x''_\mu),$$

x_μ интерпретируется как координата центра тяжести, связанная с размерами частиц, r_μ – внутренняя степень свободы [6, 8]. Уравнения Юкавы получили название уравнения билокального поля. В этих работах частица возникает как объект с внутренними степенями свободы, его пространственно-временной образ деформируется. Это созвучно идеям протяженного, но "динамически-деформируемого формфактора" [4], которые выдвигались и нами (вводя четырехмерный осциллятор) в противовес идее о жестком релятивистски-инвариантном формфакторе (в противовес идее Г. Ватагина, Гейзенберга, предельного λ-процесса Дирака и т.д.). (В связи с этим см. очерки "Шоичи Саката" (с. 424–428) и "С. Томонага" (с. 437–438): все варианты с жестким формфактором несовместимы с уравнением Томонаги–Швингера.)

Помнится, в одной из своих работ М. Борн (автор принципа взаимности), цитируя указанные уравнения Х. Юкавы, выражал большие надежды на их дальнейшее развитие.

В 1960 г. я по приглашению Хидеки Юкавы месяц провел в Киото, читая лекции в "Юкава Холл". "Юкава Холл" – это своеобразный институт теоретической физики, построенный специально в честь Хидеки Юкавы – лауреата Нобелевской

---

[2] Нелокализованные поля впервые были рассмотрены Марковым.

премии по ядерной физике. Я хорошо помню появление его (лауреатской) работы по интерпретации природы ядерных сил, получившей вскоре мировое признание. Помню, что работа произвела на меня большое впечатление. В связи с этим я не могу не рассказать об одном курьезе.

Прочитав работу, я немедленно позвонил проф. И.Е. Тамму, предлагая доложить эту работу на семинаре ФИАНа. Игорь Евгеньевич, помню, ответил: "Да нет... не стоит. Юкава прислал мне препринт этой работы – это какая-то патология – предполагается, что ядерные силы осуществляются обменом каких-то тяжелых частиц..." Курьез заключался в том, что Юкава начинает свою статью с почтительного цитирования именно работы И.Е. Тамма (1934 г.), в которой впервые была сделана попытка объяснить природу ядерных сил обменом электронно-позитронными парами в теории слабых взаимодействий[3]. Только благодаря малости константы слабых взаимодействий это реально существующее взаимодействие не оказалось ядерным. Частицы с массой, необходимой для теории Юкавы (мезоны), были впервые открыты в космических лучах... Такое случается в истории...

Наши взаимные литературные знакомства с Юкавой начались задолго до моего пребывания в "Юкава Холл". Юкава оказался очень контактным и, пожалуй, веселым, точнее, улыбчивым собеседником. По типу его легко можно было принять за европейца. За время моего пребывания в Киото было много содержательных обсуждений, которые остаются в памяти. В его довольно многочисленной школе учеников царила атмосфера большой "теоретической терпимости". Когда молодой человек на семинаре с важным видом предлагал заведомо "фантастическую" теорию, Юкава, слушая его, снисходительно улыбался и на мой немой вопрос только говорил: "Ничего... пусть попробует свои силы..."

В кабинете Юкавы я как-то встретился с проф. Ш. Сакатой. Между ними шел какой-то оживленный разговор на японском языке. Мне показалось, что они не желали почему-то перейти в моем присутствии на английский язык и в связи с этим испытывали некоторое смущение. После, как мне показалось, некоторых колебаний они перешли на английский язык и разъяснили мне, что речь шла о постройке в Японии большого ускорителя элементарных частиц. Не комментируя проект, я бросил только одну фразу: "Значит, японской теоретической физике приходит конец!" Юкава и Саката с недоумением попросили разъяснения моего утверждения.

Дело в том, что в Японии в это время была слаба экспериментальная ядерная физика, но очень быстро возникла сильная группа теоретиков во главе с Юкавой и Томонагой. Два лауреата Нобелевской премии (Юкава и Томонага) – для такой тогда небольшой страны, как Япония, – подтверждает характеристику состояния в то время японской теоретической физики. Большая плеяда японских физиков-теоретиков также внесла существенный вклад в науку. Но надо сказать, что как-то так получилось, что зарубежные (западные) авторы не всегда аккуратно цитировали японские работы, что вызывало известное раздражение среди японских ученых. Я в несколько юмористическом тоне истолковал мою фразу в том смысле,

---

[3] Кстати, в последующей работе И.Е. Тамм использовал обмен нейтринно-антинейтринных пар, предполагая это взаимодействие не слабым. В сущности, И.Е. Тамм впервые допустил существование так называемых слабых токов [5].

что ряд талантливых японских физиков будет занят обсчитыванием предполагаемых экспериментов на новом ускорителе, теоретическим анализом получаемых экспериментальных данных и отойдет от общих фундаментальных проблем материи, которые так успешно развиваются в стране. Эти мои замечания, а особенно высокая оценка состояния японской теоретической физики, подверглись оживленному обсуждению. Профессор Юкава сообщил мне, что он получил, кажется от ЮНЕСКО, проект предполагаемого специального института теоретической физики для развивающихся стран под эгидой ЮНЕСКО и Всемирного атомного агентства. Директором института предлагался профессор Абдус Салам. На прямой вопрос Юкавы я высказался положительно за создание такого института. И действительно, будучи спустя много лет членом Совета этого института, я убедился в том, что профессор Салам, оказавшийся великолепным организатором, нашел во многих отношениях прекрасную и своеобразную форму научного института.

Киото в то время представлял собой студенческий город, в котором на улицах очень редко встречались европейцы. На улице меня часто останавливали студенты и интересовались, из какой страны я родом. Я обычно на этот вопрос отвечал: "Догадайтесь". Помнится, никто не сказал, что я из Советского Союза. Один пожилой японец, узнав, что я из Советского Союза, необычайно обрадовался и произнес несколько фраз на русском языке. Оказалось, что он после войны был в нашем лагере военнопленных. И, что меня удивило, сохранил хорошие и благодарные воспоминания о том времени. Дело в том, что, как я понял, в японской армии он был рядовым солдатом, где подавлялась личность солдат такими изощренными методами, что пребывание в лагере для военнопленных в Советском Союзе ему, по-видимому, не казалось очень тяжелым. Он затем как-то принес мне в отель трогательный подарок для моей жены – изящное ожерелье из кусочков какого-то красивого дерева.

Когда заканчивалось мое пребывание в Киото, профессор Юкава организовал небольшой прием, на котором присутствовали и студенты. Кто-то из рядом со мной сидящих сказал мне, что Юкава любит дирижировать национальным японским хором, и если я его попрошу, он охотно согласится. Х. Юкава действительно согласился. Видимо, надо быть японцем, чтобы оценить все своеобразие хорового японского пения, приемы которого отрабатывались столетиями. Лица поющих светились вдохновением, однако на меня пение не произвело такого сильного впечатления.

Кончив дирижировать, Юкава сказал: "Теперь Ваша очередь спеть русскую песню..." Я понял, что сделал большую ошибку, попросив Юкаву дирижировать хором... Но было поздно. И мне пришлось спеть старинную русскую песню "Лучинушка". Наутро я получил письмо от японских студенток, в котором говорилось, что им очень понравилась "Лучинушка", и содержалась просьба научить их ее петь. Дело в том, что Япония – "поющая нация". Я видел, как девушки – проводницы автобуса – на конечной остановке доставали из сумок "песенники" и хорошо пели песни разных стран мира. Служитель одного храма, узнав, что мы из Советского Союза, сказал, что он может спеть нам русскую песню и спел... "Боже, царя храни..."

Когда на вокзале профессор Юкава провожал меня, я понял, что он пользуется в Японии всенародным почтением, является ее национальной гордостью. В переполненном зале мгновенно образовался широкий коридор, и люди, стеной стоящие

по обе его стороны, согнувшись в глубоком поклоне, произносили приветствия в адрес профессора.

Последний раз я видел Х. Юкаву в 1975 г. на Пагуошской конференции в Японии. Эта встреча была радостной и грустной. Юкава тяжело болел, его жена Суми Юкава прикатила его в инвалидной коляске, и он произнес краткую, но содержательную речь в защиту мира.

Вскоре Хидеки Юкавы не стало...

Юкава – это фамилия жены Хидеки. До своей женитьбы Юкава носил фамилию "Огава". В Японии существует такой обычай – если волей судеб кончается род одного из брачующихся, то таким способом, сменой фамилии, продолжается этот род.

На этот раз прощальный прием участников конференции организовывался Суми Юкавой. Она была хорошо сохранившейся, как говорят, "женщиной без возраста" – на приеме легко и непринужденно демонстрировала изящные танцы гейши. А мне пришлось снова петь, на этот раз "Рябину". Суми вспомнила мои старые приезды в Японию.

Не могу удержаться от рассказа об одном событии, необычном по своей случайности. При подготовке популярной лекции в Токийском университете для студенческой аудитории по проблемам строения материи мне очень хотелось донести до японского слушателя некоторые цитаты в их своеобразном стиле из "Письма к немецкой принцессе" Эйлера. Например, он писал: "Было время, что распря о монадах ("элементарных частицах" – сказали бы мы сегодня. – *М.М.*) так была сильна и обща, что во всех собраниях и на караулах об ней с великим жаром говорили. При дворе не было почти ни единой дамы, которая бы или не защищала, или не опровергала монады", и т.д.

Для моего плохого английского передать специфику языка времен Эйлера было не под силу, и я обратился к своим японским друзьям с вопросом, нет ли среди японских физиков человека, который в таком совершенстве знал бы русский язык. Оказалось, что такой человек есть, и я с ним познакомился. Тут я с удивлением узнал, что этот человек не только был физиком, но и его первая работа, посвященная расчету энергии связи молекулы бензола, по своим конечным результатам совпадала с моей первой научной работой.

После этого я вспомнил, что Ю.Б. Румер, по предложению которого я делал расчеты энергии связи молекулы бензола, получил впоследствии машинописный текст этой работы на языке эсперанто. Это было в 1933 г. И вот теперь, спустя более четверти века (1960 г.), я встречаюсь с ее автором. Как он мне сказал, впоследствии он бросил физику и стал специалистом по русскому языку. Удивительные случайные совпадения бывают...

В 1982 г. в нашей стране были изданы "Лекции по физике" Хидеки Юкавы. К этому изданию мной написано краткое предисловие: «"Лекции по физике" проф. Хидеки Юкавы, как предупреждает сам автор, – не введение в физику, а скорее размышления о физике и физиках.

Ценность книги в ее своеобразной автобиографичности, и это тем более интересно, что речь идет об автобиографии человека, внесшего значительный вклад в науку.

Всегда привлекают внимание оригинальные точки зрения на обсуждаемые решения и нерешенные проблемы. Размышления о физике проф. Юкавы изложены так живо, что заставляют размышлять и читателя. И здесь есть много поводов для размышлений.

Не кажется недостатком, что лекции не обработаны, даны в "сыром" виде, в виде записи непринужденной остроумной беседы лектора с аудиторией, так сказать, в виде ценной "руды".

Хорошо, что сохранена в тексте живая связь лектора с аудиторией. Если удалить эти стенографические вставки ("смех", "смех"), то живой характер лекций существенно нарушится. Эти вставки заставляют читателя почти присутствовать среди слушателей лекции.

Интересны размышления лектора о физиках (одиночках, полемистах, коллективистах). Замечания о Сольвеевских конгрессах, об "одиночке" де Бройле и о "плохом характере Паули" несколькими фразами воскрешают эпоху. Привлекают внимание отдельные отступления лектора, например, остроумные замечания о перегрузках в учебных планах студентов, оставляющих мало времени для самостоятельных работ. Лекции, безусловно, ценны в чисто литературном отношении, они представляют собой и определенную историческую ценность, ценность исторического документа.

Книга выдержала в Японии несколько изданий. Надеюсь, что ее с интересом встретят и читатели нашей страны».

В сборнике, посвященном 30-летнему юбилею появления лауреатской работы Юкавы, я по просьбе организаторов этого юбилея представил статью, где впервые была выдвинута гипотеза о возможном существовании частицы – "максимона" – как верхней границы в спектре масс элементарных частиц и возможной роли гравитации в теории элементарных частиц:

$$m_{\max} \sim \sqrt{\frac{\hbar c}{\varkappa}} \sim 10^{-5} \text{ г.}$$

В ответ я получил от Юкавы очень дружественное письмо:

7 октября 1965 г.

Уважаемый профессор Марков!

Хочу выразить свою глубокую признательность за Ваш значительный вклад в Юбилейный 1965 года выпуск "Supplement of the Progress of Theoretical Physics".

В связи с этим не могу не вспомнить Вашу помощь и поддержку, которую Вы оказывали мне на протяжении длительного времени и посредством личных контактов, и через научные публикации. Очень надеюсь, что наша дружба останется столь же прочной и в последующие годы.

Еще раз благодарю Вас

Искренне Ваш *Хидеки Юкава*
Директор института фундаментальной физики,
Университет Киото, Киото, Япония

P.S. Наша конференция была немногочисленной, не более 30 участников, и по этой причине у нас было много времени для свободных обсуждений. Но очень не хватало Вас.

RESEARCH INSTITUTE FOR FUNDAMENTAL PHYSICS
(YUKAWA HALL)
Kyoto University
Kyoto, Japan

October 7, 1965

Dear Professor M. A. Markov:

I would like to express my heartfelt thanks to you for your important contribution to the Commemoration Issue 1965 of the Supplement of the Progress of Theoretical Physics. On this occasion I cannot help recalling encouragements and stimuli which you have been giving me for a long period through personal contacts and through scientific papers. I hope very much that our friendship will continue to be as good as ever for many many years to come.

Thanking you again

Yours Sincerely,

Hideki Yukawa

Hideki Yukawa, Director
Research Institute for
Fundamental Physics
Kyoto University, Kyoto
Japan

P.S. Our Conference was a small gathering of less than 70 participants, but for the very reason of smallness we had more time for free discussions. We missed you very much.

Время от времени я получаю письма от Суми Юкава. Она приняла от Хидеки эстафету борьбы за мир (Юкава был одним из нобелевских лауреатов, подписавших известный Манифест Рассела–Эйнштейна) и несколько раз возглавляла общественные организации. Для всей семьи Юкавы, идет ли речь о рано ушедшем из жизни сыне или о самой Суми Юкава, характерна активная общественная миротворческая деятельность, что видно, например, из писем:

17 декабря 1971 г.

Уважаемый профессор Марков!

Благодарю Вас за великолепную рождественскую открытку. К сожалению, мы в этом году не посылали Вам рождественских поздравлений, так как у нас сейчас траур по нашему второму сыну. Можно и не говорить, что мы очень надеемся, что у Вас все хорошо.

Наш второй сын восемь лет учился в Соединенных Штатах – 4 года в высшей школе и 4 года в Университете Кола. Затем он переехал в Англию, чтобы продолжить изучать физику, после 7 лет исследовательской работы он получил степень доктора. В прошлом году он вернулся в Японию работать, но внезапный сердечный приступ в феврале безвременно оборвал его жизнь.

Некоторое время после его смерти мы не могли ничего делать. И тем не менее быстро меняющаяся ситуация в мире не позволяет нам длительное время предаваться лишь своему горю. Мы пришли к мысли, что наши усилия, как и усилия его брата, должны быть направлены на развитие идеи федерализма, и тогда они явятся достойным увековечиванием его памяти.

Просим прощения, что не послали поздравлений. Вам, как всегда, наши наилучшие пожелания.

Искренне Ваши *Хидеки и Суми Юкава*

December 17, 1971

Dear Prof. and Mrs. Markov,

Thank you very much for your beautiful Christmas card. Unfortunately we are not sending you Christmas cards this year because we are observing mourning for our deceased second son. Needless to say, however, we do hope that everything is going well with you.

Our second son studied 8 years in the United States -- 4 years at a high school and another 4 years at [illegible] University. Then he went to England to continue his study in physics and, after 7 years of research, obtained a Ph. D. degree. Last year he came back to Japan to work, but a sudden heart attack brought him untimely death this February.

Like his parents, he was an earnest world federalist and was always willing to do all within his power in order to establish a world federation. We are indeed sorry that he passed away before he saw his dream realized.

For some time after his decease, we were so depressed that we did not feel like doing anything at all. Nevertheless, changing situations of the world did not allow us to be overcome with sorrow for too long. We have decided that our efforts, together with the efforts of his brother, for the promotion of federalist ideas will be the best service for the deceased son.

Please excuse us for not sending you [illegible]greetins. Our best wished are always with you.

Sincerely yours,

Hideki and Sumi Yukawa

Hideki and Sumi Yukawa
6 Izumikawa-cho
Shimogamo
Sakyo-ku
Kyoto 606
Japan

Декабрь 1982 г.

Уважаемый профессор Марков!

Благодарю Вас за Ваше сердечное письмо по случаю кончины моего мужа Хидеки Юкава. Я признательна Вам за Вашу долгую и верную дружбу. После шести лет ухода за моим больным мужем и в связи с его смертью я сама была больна в прошлом году, но сейчас я поправилась. Недавно я возобновила свою деятельность по мировому федерализму: как это следует из прилагаемых материалов. Следуя завещанию моего мужа, я намерена сделать все от меня зависящее для дела мира через Всемирную федерацию. Будьте так добры и помогите мне в моих усилиях.

Желаю Вам счастливого Рождества и Нового года. На рождественской открытке я нарисовала панораму Киото.

Искренне Ваша *Суми Юкава*

December 1982

Dear Prof. and Mrs. M. A. Markov,

Thank you very much for your heart-felt letter on the occasion of my husband - Hideki Yukawa's death. I am indeed grateful for your long and constant friendship.

Due to six years of strain in attending my husband and to sorrow over his death, I myself fell ill last year, but now I have regained my health. Recently I started to resume world federalist activities, as the enclosed papers might indicate to you. Following the will of my late husband, I intend to do my best for the cause of world peace through world federation. Please kindly extend your hands to help me in my efforts.

Wishing you Merry Christmas and Happy New Year, I painted scenery of Kyoto on this Christmas card.

Sincerely yours,

Sumi Yukawa

Sumi Yukawa

6 Izumigawa-cho, Shimogamo, Sakyo-ku,

Kyoto 606, Japan.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Марков М.А.* // Докл. АН СССР. 1955. Т. 101, № 1.
2. *Марков М.А.* Гипероны и К-мезоны. М.: ОГИЗ, 1958. С. 182.
3. *Радунская И.* // Огонек. 1975. № 40. С. 7.
4. *Markov M.A.* // Nuovo cim. suppl. 1956. Vol. 3, № 4. P. 760.
5. *Tamm I.E.* // Nature. 1934. Vol. 134. P. 1010.
6. *Yukawa H.* // Progr. Theor. Phys. 1947. Vol. 2. P. 209.
7. *Yukawa H.* // Phys. Rev. 1949. Vol. 76. P. 300.
8. *Yukawa H.* // Ibid. Vol. 77. P.219.
9. *Yukawa H.* // Ibid. 1950. Vol. 80. P. 1047, 1953.
10. *Yukawa H.* // Ibid. 1953. Vol. 91. P. 415, 416.

С. ТОМОНАГА*

Томонага принадлежит к блестящей плеяде японских физиков. Он, как и Юкава, – лауреат Нобелевской премии. Лишь однажды мне пришлось лично встречаться с Томонагой (1960 г.). Как-то в Токио Томонага пригласил меня в типично японский ресторан. На обеде присутствовал еще один японец. Это был, если мне память не изменяет, Таникава. Он в разговоре со мной дал краткую, но выразительную характеристику Томонаги: "Томонага – истинно японский ученый. Американцы много раз предлагали профессору Томонаге переехать на работу в Америку, где он получал бы за свою работу в десятки раз более, чем он имеет в Японии, но он категорически отказывался – он настоящий японец".

Томонага произвел впечатление очень сдержанного, суховатого человека, в отличие от Юкавы – неулыбчивого. За обедом улыбнулся он, помнится, лишь однажды, когда спросил меня, где я научился пользоваться палочками. (Перед поездкой в Японию я провел целый месяц в Китае.)

Несмотря на мимолетную встречу с Томонагой, у меня есть основания для воспоминаний о нем.

Дело в том, в 1932 г. появилась статья Дирака–Фока–Подольского о многовременной формулировке проблемы многих тел в квантовой электродинамике [1]. В статье отмечалось, что в квантовой электродинамике проблема многих тел до этой работы, в сущности, не формулировалась в последовательно релятивистском виде: так, вводилось одно общее время для всех частиц с различными координатами. Тогда мне пришло в голову, что квантовая механика здесь не при чем, что то же самое относится и к классической механике. Что фактически в классической "релятивистской" проблеме многих тел мы никогда не пользовались истинно релятивистской формулировкой. В итоге появилась моя статья под названием "Проблема многих тел в классической релятивистской теории" [2].

---

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 47–49.

Но тут же возник вопрос, как последовательно релятивистски излагать квантовую электродинамику, где идет речь о бесконечном числе частиц, когда необходимо ввести бесконечное число различных времен... Эту проблему мы часто обсуждали с Д.И. Блохинцевым, но адекватного формализма не находили.

Как-то, просматривая 1-й том только начавшего выходить в свет японского журнала "Progr. of Theor. Physics", я обнаружил статью Томонаги, где как раз эта проблема была решена. Я немедленно позвонил Блохинцеву и сказал, что задача, которую мы обсуждали, решена. Речь идет об известном уравнении Томонаги, которое представляет собой краткую запись бесконечной системы уравнений Томонаги

$$i\hbar c \frac{\partial \psi}{\partial t(x, y, z)} = H(x)\psi,$$

где H – плотность энергии взаимодействия. Бесконечная система этих уравнений совместима, если выполняется условие интегрируемости

$$H(x)H(x')-H(x')H(x) = 0. \tag{1}$$

Весь предыдущий рассказ вызван желанием осветить один существенный этап в истории развития идей теории поля.

Бесконечное значение собственной энергии точечного источника поля (так называемые расходимости) всегда привлекало внимание физиков. Сделать что-то в теории поля, чтобы получить конечные наблюдаемые значения для собственных масс частиц было мечтой многих теоретиков. Еще в 1934 г. Г. Ватагин предложил для этой цели релятивистски-инвариантный формфактор. Ряд лет спустя эту идею независимо возродил Гейзенберг. Правда, Паули указал ему, что в данном случае просто повторяется во всех деталях работа Ватагина. Можно указать на целый ряд авторов и попыток решать эту проблему. Не избежал этих попыток и Дирак с его идеей так называемого предельного λ-процесса. Правда, ему также было указано, что уже ранее эта идея рассматривалась в несколько иной форме Венцелем. Увлечения предельным λ-процессом не избежал и И.Я. Померанчук.

Ряд лет занимаясь этой проблемой, я пришел к тривиальному выводу, что все эти попытки связаны с введением в теорию жестких размеров частиц, противоречащих конечной скорости сигнала, т.е. релятивизму. Неясности заключались в том, что, казалось бы, во всех этих попытках предельная длина вводилась релятивистски-инвариантным образом. И вот с появлением уравнения Томонаги стало ясно, что ранее теория поля формулировалась, в сущности, непоследовательно релятивистским образом. В уравнение Томонаги вообще нельзя ввести обсуждаемые в указанных работах формфакторы, так как разрушаются условия (1), т.е. условия совместимости уравнений Томонаги. Поэтому я обратился к рассмотрению возможности введения релятивистски-инвариантных, но динамически деформируемых (нежестких) формфакторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Dirac P.A.M., Fock V.A., Podolsky B.* // Zsch. d. Sowjetunion. 1932. Vol. 2. P. 1938.
2. *Markov M.A.* // J. Phys. 1943. Vol. 7. P. 42.

АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ ФРИДМАН*

С 22 по 26 июня 1988 г. в Ленинграде проходила конференция, посвященная столетию со дня рождения Александра Александровича Фридмана. Значение совершенного Фридманом в науке состоит в том, что он, говоря образно, широко открыл дверь в здание современной космологии.

Действительно, какое представление о нашей Вселенной доминировало до появления известной работы Фридмана?

Эйнштейн стремился приспособить созданную им теорию гравитационного поля к статическому варианту образа нашей Вселенной. В этом варианте отсутствует какое-либо ее развитие. А.А. Фридман нашел такое решение уравнений Эйнштейна, которое описывает вселенную, расширяющуюся со временем, что потом экспериментально подтверждено Хабблом.

Расширение со временем Вселенной означает, что когда-то было начало Вселенной и, по современным данным, время жизни нашей Вселенной оценивается порядка 10 млрд лет. В связи с этим возникло огромное количество различных проблем, которые необходимо решать в рамках расширяющейся Вселенной. Наша Вселенная не просто расширяется, меняя свои размеры, – с ее расширением ее структура, структура материи должна была меняться со временем.

Расширяющаяся со временем Вселенная – это значит, что когда-то ее размеры были как угодно малыми, а плотность вещества как угодно большой. Это значит, что когда-то не было галактик, звезд, планет, живой материи. Все это должно иметь свою историю. И лишь со временем должна была возникнуть материя, в частности, в форме всех элементов таблицы Менделеева. При огромной плотности материя могла бы существовать лишь в форме элементарных частиц. Возникла целая область физики – называемой "сверхранней вселенной", природа которой в настоящее время интенсивно теоретически изучается, чему уже посвящена обширная научная литература.

Природа "сверхранней вселенной", как оказалось, находится в тесной связи с глубокими фундаментальными проблемами природы элементарных частиц. Дело в том, что в условиях "сверхранней вселенной" должен активно проявиться весь возможный спектр элементарных частиц, все их взаимодействия, различные отношения между ними. Состояние "сверхранней вселенной" оказывается как бы специальным "теоретическим полигоном", существенным для изучения наиболее фундаментальных свойств материи. Однако следует подчеркнуть, что то, что мы называем областью "сверхранней вселенной", органически не включает в себя то предельное состояние бесконечно большой плотности материи, которое в этом случае содержится в решениях уравнений Эйнштейна, когда речь идет о самом первом моменте существования вселенной. Точнее говоря, область "сверхранней вселенной" обычно начинается с момента $t > t_0$, где t_0 составлено из мировых констант – постоянной Планка $\hbar$, гравитационной константы $\varkappa$ и постоянной

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 49–59.

скорости света c:

$$t_0 = \sqrt{\hbar \varkappa / c^5} \sim 10^{-43}\ \text{c}.$$

Нами перечислено лишь очень немногое из того, что оказалось "за широко открытой дверью" в современную космологию. Можно сказать, что в отличие от "застывшей" вселенной Эйнштейна вселенная после работы Фридмана наполнилась историей, она, можно сказать, "ожила", вернее, стала в какой-то степени сродни живому организму: она рождается и проходит различные стадии жизни.

В сравнениях вселенных Эйнштейна и Фридмана может быть уместна аналогия, взятая из легенды далекого прошлого. Царь Древнего Кипра Пигмалион пал жертвой любви к им же созданной прекрасной скульптуре Галатеи. С помощью Афродиты Пигмалион вдохнул в нее жизнь. Вселенная Эйнштейна – это аналог прекрасной, но безжизненной Галатеи. Вселенная Фридмана – это ожившая Галатея.

А.А. Фридман, открывая дверь в здание современной космологии, в то время не мог усмотреть многого, что содержится в этом здании. Правда, следуя научно-общественному мнению двух десятилетий XX столетия, в частности мнению Давида Гильберта[1], он полагал, что в рамках общей теории относительности, вернее, в рамках созданного в то время ее стройного математического аппарата, физика уже приближается или даже приблизилась к тому исчерпывающему совершенству, которым обладает, например, геометрия Евклида, и что в рамках общей теории относительности найдут исчерпывающее объединение все фундаментальные свойства материи.

В книге А.А. Фридмана, написанной с В.К. Фредериксом [9], комментируются слова Д. Гильберта о начавшейся аксиоматизации физики в таком торжественно-мрачном стиле: "Нам, к счастью, не дано видеть будущего, и мы не знаем, явится ли эпоха аксиоматизации, эпоха скепсиса, предсмертными часами знания, но если бы даже это было так, то и тогда логическая красота конца заставила бы нас приветствовать появление Принципа относительности". Надо ли говорить о том, что природа оказалась намного богаче теории относительности Эйнштейна и фантастичнее фантазии Гильберта. Ведь совсем не теория относительности, а вначале нерелятивистская квантовая механика помогла раскрыть своеобразие закономерностей, господствующих внутри атома.

"НАМ, К СЧАСТЬЮ, НЕ ДАНО ВИДЕТЬ БУДУЩЕГО"

"К счастью" предполагает возможность своей антитезы – "к несчастью". Знание того будущего, которое предполагалось авторами, означало бы "конец знания", конец науки, который авторы вынуждены были бы приветствовать с печальным восторгом.

---

[1] "Я убежден также, – писал Гильберт, – что основные уравнения (т.е. теории Эйнштейна. – *М.М.*) дадут возможность проникнуть в самые сокровенные процессы, происходящие внутри атома, и, что особенно важно, – станет осуществимым привести все физические постоянные к математическим константам, а это, в свою очередь, означает сделать из физики науку такого рода, как и геометрия" [11].

Но "нам, к счастью, не дано видеть будущего". Эта фраза заслуживает быть окруженной драгоценной рамкой. Можно утверждать, что общность, содержащаяся в семи словах этой фразы, подтверждается (конечно, в крупном плане) как в науке, так и в истории человеческого общества.

Если наша Вселенная в ее сегодняшнем состоянии, по-видимому, достаточно хорошо описывается решениями уравнений Эйнштейна, найденными Фридманом, то так называемые сверхраннее и сверхпозднее состояния нашей Вселенной представляют собой пока закрытые страницы ее истории. Согласно решениям Фридмана, вселенная может не расширяться беспредельно, если плотность ее материи достигает некоторого критического значения (близкого к 10^{-29} г/см^3). Плотность материи, которая оценивается физиками по наблюдению числа звезд (светящейся материи), где-то на порядок меньше критической. Но есть серьезные основания полагать (по движениям звездных скоплений), что, по-видимому, существует большая плотность так называемой "темной материи", которая определяет звездные орбиты.

Еще в 1964 г. была выдвинута гипотеза [3] о том, что наряду с нейтронными звездами могли бы существовать "нейтринные звезды". Такие небесные тела трудно было бы даже называть звездами, так как они обладали бы колоссальными размерами и колоссальной полной массой. По существу, они представляли бы собой ту темную материю, в которой двигаются скопления звезд. Для нейтринных звезд все параметры (масса, радиус) приобретают множители $(M_n / m_\nu)^2$, где M_n – масса нейтронной звезды, $M_\odot$ – масса Солнца. Таким образом, если масса электронного нейтрино ~20 эВ, то фактор, о котором идет речь, $(M_n / m_\nu)^2 \sim 10^{16}$, и масса и радиусы нейтринных звезд достигают значения $M_\nu \sim 10^{17}$ масс Солнца и $R_\nu \sim 10^{22}$см. Другими словами, галактики размерами ~10^{22} см могли бы находиться внутри такой нейтринной звезды, а масса всех звезд галактики $10^{12} M_\odot$ была бы пренебрежимо мала по сравнению с массой нейтринной звезды.

Нами был указан и другой претендент на темную материю [12]. В истории Вселенной был период большой плотности материи, в которой естественным образом образовывались малые черные дыры ($m < 10^{13}$ г), которые к данному времени либо распались полностью в результате так называемого хокинговского излучения, либо, если конечное состояние черных дыр представляет собой стабильное образование, скажем, максимон, темная материя могла бы состоять из максимонов. Максимон – частица с массой, численное значение которой определяется единственным образом из мировых констант (c – скорость света, $\hbar$ – постоянная Планка, $\varkappa$ – гравитационная константа):

$$m_M \sim \sqrt{\hbar c / \varkappa} \sim 10^{-5} \text{г}.$$

Существует ряд соображений как за, так и против стабильности максимонов.

В последние годы возникли существенные соображения в пользу того, что в очень ранней истории нашей Вселенной был период, когда ее пространство (ее метрика) было не фридмановским, а де-ситтеровским. Такое решение уравнений Эйнштейна с так называемым Λ-членом было найдено де Ситтером еще в 1918 г.

Существует общее математическое доказательство утверждения, что фридмановское пространство, фридмановские решения уравнений Эйнштейна в пределе очень больших плотностей переходят в де-ситтеровские, если гравитационные взаимодействия обладают асимптотической свободой, т.е. когда гравитационная константа оказывается не константой, а некоторой функцией, убывающей в пределе до нуля. Но в пределе больших плотностей наблюдаемая гравитационная плотность энергии исчезает, так как она имеет вид $\varkappa T_{\mu\nu}$, и если $\varkappa$ быстрее обращается в нуль, чем растет $T_{\mu\nu}$, то в пределе в правой части уравнений Эйнштейна остается только некая константа [6] (Λ-член). Таким образом, возникает уравнение Эйнштейна, определяющее соответствующую вселенную де Ситтера. Вселенная де Ситтера характеризуется отрицательным давлением

$$p = -\varepsilon,$$

где ε – плотность энергии, p – плотность давления. В этом случае нарушается принцип энергодоминантности – принцип, который делает неизбежным возникновение сингулярности гравитационно-коллапсирующих объектов: черных дыр. Физически это значит, что в этом случае гравитационные взаимодействия, обеспечивающие коллапс, ослабевают и в пределе исчезают, а отрицательное давление, обязанное Λ-образному члену в правой части уравнений Эйнштейна, препятствует материи в достижении сингулярности, другими словами, превращению коллапсирующего объекта в "точку".

Обращают на себя внимание физическое содержание Λ-членов в пространстве де Ситтера и его роль в той стадии развития вселенной, которая связана с переходом вселенной де Ситтера во вселенную Фридмана. Λ-член представляет собой своеобразную форму энергии, локализованной в пространстве. В отличие от других известных форм энергий эта форма энергии не связана с энергией какого-либо "поля", удовлетворяющего какому-то, пусть очень своеобразному, уравнению. Эту энергию нельзя рассматривать состоящей из каких-то частиц, в этом смысле эта энергия не квантуется. Λ-член иногда называют "плотностью энергии вакуума". Это лингвистически противоречивое сочетание слов означает лишь: вакуум перестает быть вакуумом. И так называемый "инфляционный период очень ранней вселенной" представляет собой явление "распада вакуума", т.е. превращение энергии Λ-члена в конце концов в энергию всех существующих в природе полей. В этом смысле Λ-член представляет собой как бы материю вселенной в ее первозданной первичной форме – в этом смысле ее можно назвать первоматерией. По своим физическим свойствам она напоминает первоматерию в натурфилософии Анаксагора. Анаксагор так описывает происхождение существующей в природе материи из распада первоматерии: эта первоматерия "лишена какой-либо способности движения. Вначале космообразования бесконечно малые частицы этой среды первоначально покоились каждая на своем месте: они не изменялись и не перемещались; ибо не было ничего, что побуждало бы их изменяться и перемещаться" [7].

Выше мы обратили внимание на то, что Λ-образный член может быть получен, если предполагать существование в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий при очень больших плотностях. Эта идея в известном

смысле созвучна идеям возможной асимптотической свободы в природе других взаимодействий. Едва ли можно считать случайностью автоматическое возникновение в формализме теории Λ-образного члена на основе только гипотезы об асимптотической свободе.

В известных вариантах инфляционной стадии в развитии вселенной роль Λ-образного поля играет некий специально вводимый скаляр, либо имеющий непосредственное отношение к некоему скалярному полю, вернее его части, не зависящей от времени, либо составленный из различных произвольно взятых полей. Но во всех случаях он играет роль некой первоматерии.

"Очень ранняя вселенная" представляет собой на самом деле позднюю вселенную по отношению к планковскому времени

$$t < \sqrt{\hbar\varkappa / c^5} \sim 10^{-43}.$$

Что было при $t < t_0$, можно лишь гадать в форме различных альтернативных гипотез, которых мы лишь слегка коснемся в дальнейшем.

Кроме проблем действительно ранней вселенной, вернее проблем ее рождения, есть проблема очень поздней вселенной. Правда, она снимается, если реальные вселенные почему-то не являются закрытыми. Но эта проблема возникает при обсуждении коллапсирующих черных дыр. Если бы коллапс вселенной или черной дыры на какой-то своей "очень поздней" стадии развития напоминал бы процесс обратной инфляции, т.е. процесс, скажем, "дефляции", то это бы сопровождалось превращением всех форм материи, существующих при больших плотностях, в форму аналогичной первоматерии, вакуумного Λ-члена и фридмановой метрики в конечной стадии очень позднего коллапса в метрику де Ситтера. Можно выдвинуть гипотезу [5], что в процессе дефляции вся материя преобразуется в набор (возможно, элементарных) черных дыр, где все формы полей теряют свои различия. Напомним фразу Уилера: "черные дыры не имеют волос". Но в результате такого преобразования материя окажется обладающей только гравитационным взаимодействием и в процессе возникновения асимптотической свободы превратится в Λ-член, а вселенная Фридмана во вселенную де Ситтера[2].

К сожалению, в процессе *дефляции* требуется описание состояния коллапсирующего тела при длинах не только порядка, но меньших планковских. Более того, в процессе дефляционного периода коллапса обязательно возникают возмущения метрики, не связанные с материей, которые не регулируются асимптотической свободой и даже гипотезой конечной предельной плотности материи [4]. Как еще было давно показано Лифшицем и Халатниковым, при коллапсе вселенной вблизи сингулярности возникают анизотропные решения казнеровского типа. Более того, нарастание этих возмущений обгоняет "рост" метрики ($g_{\mu\nu}$), вызываемый коллапсирующей материей до такой степени, что материей вместе с ее асимп-

[2] В вариантах, в которых Λ-образный член (первичная материя – праматерия) идентифицируется постоянным скалярным полем, процесс инфляции сопровождается рождением тяжелых гипотетических скалярных частиц, распад которых дает весь спектр существующих частиц. В этом случае наша гипотеза рождения Λ-образным членом черных дыр естественным образом (хокинговское излучение) дает спектр возможных частиц.

тотическими свойствами можно пренебречь. Здесь следует упомянуть одно обстоятельство, которое может устранить опасность появления сингулярности в результате возникновения в процессе коллапса сингулярностей, обязанных казнеровским анизотропным возмущениям. Обращено внимание на то, что в случае анизотропных решений в результате бурного рождения частиц на планковских размерах от сингулярности происходит процесс изотропизации превращением возникающего гравитационного поля в материю.

Согласно работам Зельдовича и др., тенденция эта ярко выражена, но надежные количественные результаты здесь отсутствуют, так как квантовая теория интенсивного гравитационного поля пока не построена. Следует заметить, что при дефляции плотность энергии реликтовых гравитационных волн становится близкой к планковской (для нашей Вселенной такая плотность гравитационной энергии реликтовых гравитационных волн должна возникнуть на размерах коллапсирующей вселенной $\sim 10^{-17}$ см). В рамках дефляционной гипотезы, о которой речь шла выше, необходимо, чтобы на коллапсирующем промежутке от 10^{-17} до 10^{-33} см, когда предельная плотность остается практически планковской, все прежнее реликтовое гравитационное поле обязано превратиться в гравитирующую материю через рождение в этом поле частиц или через непосредственное образование элементарных черных дыр. Пожалуй, следует иметь в виду, что судьба реликтовых гравитационных волн при коллапсе – наиболее существенная проблема, и если предполагаемое нами превращение их в гравитирующие частицы несправедливо, то уже на этом уровне решение проблемы коллапса на основе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий окажется несостоятельным. Если же эта гипотеза имеет под собой основание, то естественно полагать, что и все другие возникающие гравитационные волны в процессе дефляции преобразуются в гравитирующую материю и асимптотическая свобода гравитирующей материи не допустит сингулярности.

Когда-то Эйнштейн в беседах с рядом лиц неоднократно повторял занимавшую его мысль: "Что меня действительно интересует – это имел ли Бог свободу выбора в рождении Мира". В настоящее время имеется большое число космологических решений уравнений Эйнштейна. Если каким-либо принципом отбора ограничить "божественные" возможности, то в настоящее время, пожалуй, следует считать, что этот принцип отбора, по-видимому, не должен запрещать вселенные Фридмана и вселенные (метрики) де Ситтера. Существует принцип отбора решений уравнений Эйнштейна, который неоднократно обсуждался в связи с принципом Маха [1, 2]. С нашей точки зрения, этот принцип отбора следует точнее называть принципом существования пространства. В основу этого принципа положено, что пространство $g_{\mu\nu} \neq 0$ только в присутствии материи, т.е. если $T_{\mu\nu} \neq 0$.

В интегральном представлении уравнения Эйнштейна

$$g_{ik} = \frac{8\pi\varkappa}{c^4} \int G_{ik}^{\alpha\beta} T_{\alpha\beta}(y) \sqrt{-g(y)} d^4 y + A_{ik}(x)$$

имеется некоторый произвол выбора гриновых функций, который варьирует характер отбора: $A_{ik}(x)$. Во всяком случае, есть варианты граничных условий (вернее, функций Грина), когда оказываются допустимыми космологические решения как

Фридмана, так и де Ситтера. Вейлевские, свободные от материи, и казнеровские метрики запрещены этим принципом отбора в начальном состоянии вселенной. Для конечных состояний вопрос открыт. В правилах отбора Райне [14] запрещены космологии типа космологий Бьянки. В частности,

$$dS^2 = -dt^2 + x(t)dx^2 + y(t)dy^2 + z(t)dz^2.$$

Если в результате асимптотической свободы гравитационных взаимодействий метрика Фридмана внутри черной дыры превращается действительно в метрику де Ситтера, в которой нет сингулярности, и в силу отрицательного давления гравитационное сжатие должно замениться де-ситтеровским отталкиванием, то естественно было бы ожидать нового процесса инфляции и превращения метрики де Ситтера снова в метрику Фридмана. Но этот простой осцилляционный процесс оказывается невозможным. В последние десятилетия с помощью работы Крускала и ряда его современников и предшественников была расшифрована пространственно-временна́я карта внутри коллапсирующего объекта, в частности внутри черной дыры. Было понято, что когда коллапсирующее тело сжимается до его гравитационного радиуса ($r_{gr} \sim 2M\varkappa / c^2$, где M – полная масса коллапсирующего объекта, $\varkappa$ – гравитационная константа, c – скорость света), то материя вступает в область (так называемую T-область), в которой движение возможно лишь к центру – к сингулярности, и какое-либо обратное движение материи и выход во внешнее (R_1) пространство становится невозможным. Спрашивается, если по какой-либо причине материя перестает двигаться к сингулярности (к центру объекта), а покоиться она не может (в метрике де Ситтера происходит либо сжатие, либо расширение), что же в этом случае может происходить? В свое время классическую модель в аналогичной ситуации рассмотрел И. Новиков для коллапса электрически заряженного объекта. Ситуация, схожая с нашей, заключается в том, что при большой плотности заряженной материи должен был наступить такой момент, когда отталкивание электрических сил может преодолеть гравитационное сжатие. В этом случае оказывается, что пространственно-временна́я карта Крускала указывает на возможность для процесса де-ситтеровской инфляции, но не в то пространство, где возник коллапс черной дыры, а в так называемую область T_+, где движение возможно только "от центра". Однако эта область ненаблюдаема для наблюдателя, наблюдавшего в прошлом коллапс данного объекта, потому что выход из T_+-области представляет собой выход во внешнее пространство (R_2-пространство), которое лежит в абсолютном будущем по отношению к пространству наблюдателя, наблюдавшего коллапс объекта. Другими словами, новая инфляция в принципе способна породить новую вселенную Фридмана, но уже в этом R_2-пространстве, коллапс звезд может в принципе оказаться источником новых вселенных. На конференции, посвященной столетию со дня рождения Фридмана, под таким названием были прочитаны два доклада [10, 13].

Тот же самый результат, о котором речь шла выше, мог бы быть получен при такой модификации уравнений Эйнштейна, которая оставляла бы конечной предельную кривизну. Может быть, предположение об асимптотической свободе и конечной плотности метрики в какой-то степени адекватно и предположению о

конечном значении кривизны. С рассматриваемой точки зрения наша Вселенная могла бы быть дочерней вселенной, находившейся в абсолютном прошлом по отношению к нашему миру. Естественно также полагать, что в процессе коллапса черной дыры в результате флуктуации достижение предельной плотности асимптотической свободы отдельных областей черной дыры происходит в более ранние времена. И, таким образом, для этих областей черной дыры создаются условия, способствующие возникновению дочерних вселенных ранее, чем для других областей, и, следовательно, одна черная дыра в принципе могла бы быть источником множества вселенных.

В предыдущих обсуждениях мы совсем не касались возможного и пока непредсказуемого своеобразия физики на планковских размерах, которые как раз существенны для обсуждаемых концепций. Дело в том, что в квантовой теории существует основополагающий тезис Н. Бора, составляющий природу интерпретации квантовой теории: "Как бы далеко ни выходили явления за рамки классического объяснения, все опытные данные должны описываться при помощи классических понятий".

Волновая функция квантовой теории является функцией классических координат, времени, импульсов и энергии. Возникает вопрос: когда мы говорим, что пока не построена квантовая теория гравитации, означает ли это, что строительный материал для будущей квантовой теории гравитации тот же, что и для существующей квантовой теории материи? Ведь все законы сохранения квантовой теории определяются групповыми свойствами пространства–времени классической физики. Уже Уилер при обсуждении коллапса вселенной рассматривает предельное состояние коллапса как некоторый "черный ящик", в рамках которого теряет смысл коммутация времени и пространства.

В квантовой теории нам удалось кентаврообразным соединением противоположных классических свойств (волны и корпускулы) непротиворечивым образом описать огромный класс явлений. Спрашивается, в какой степени на планковских расстояниях и временах справедливы групповые свойства классического пространства–времени. Если они нарушаются непредсказуемым образом (т.е. нарушаются все законы сохранения), то не возрастает ли роль абсолютного случая до своего всеобъемлющего значения? Это значило бы, что возникающие в обсуждаемом нами случае дочерние вселенные могли бы по закону абсолютного случая возникать с самыми разнообразными, например, энтропийными и другими параметрами.

В связи с фразой Фридмана–Фредерикса: "Нам, к счастью, не дано видеть будущего" – уместно упомянуть о судьбе решения де Ситтера. Как известно, Эйнштейн ввел в левую часть своего уравнения Λ-член в виде

$$R_{\mu\nu} - \tfrac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \delta_{\mu\nu}\Lambda = \varkappa T_{\mu\nu}.$$

Таким образом, Эйнштейн пытался ограничиться вселенной, не развивающейся во времени. После решения уравнения Эйнштейна, найденного Фридманом и др., Λ-член, как правило, подвергался гонению. Например, в книге Дж. Синга "Общая теория относительности" мы читаем: "Трудно определить степень серьезности, с которой физик должен мыслить пустое пространство де Ситтера физически".

В книге Ландау и Лифшица вообще нет упоминания о решении де Ситтера. Сам Эйнштейн считал, что введение им в уравнение гравитации Λ-члена было самой большой ошибкой в его научной деятельности. Другими словами, опять справедливость упомянутого тезиса.

Мы не касаемся работ А.А. Фридмана по метеорологии [8]. За его заслуги именно в этой области в Академии наук СССР была учреждена премия имени А.А. Фридмана. Тезис "Нам, к счастью, не дано видеть будущего" опять в действии. Не было суждено Академии наук предвидеть того значения, которое в будущем стали иметь работы А.А. Фридмана по космологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Альтшулер Б* // ЖЭТФ. 1986. Т. 51. С. 1143.

2. *Мальцев В К , Марков М.А.* // Тр. ФИАН. 1972. Т. 96. С. 11.

3. *Марков М.А.* Нейтрино. М.: Наука, 1964. (*Markov M.A.* // Phys. Lett. 1969. Vol. 10, N 122).

4. *Марков М.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 36. С. 213.

5. *Марков М.А.* // Там же. 1987. Т. 46. С. 342.

6. *Марков М.А., Муханов В.Ф.* // Там же. 1984. Т. 40. С. 205.

7. *Рожанский И.Д.* Анаксагор. М.: Мысль, 1983. С. 485.

8. *Тропп Э.А., Френкель В.Я., Чернин А.Д.* Александр Александрович Фридман. М.: Наука, 1988.

9. *Фредерикс В.К., Фридман А.А.* Основы теории относительности. Л., 1924.

10. *Frolov V.P., Markov M.A., Mukhanov B.F.* // Phys. Rev. D. 1990. Vol. 41. P. 383.

11. *Hilbert D* Die Grundlage der Physik // Götting. Nachr. 1915. Nov.

12. *Markov M.A.* // Progr. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa. (*Марков М.А.* О природе материи. М.: Наука, 1976).

13. *Markov M.A.* // Phys. Rev. 1988. Vol. 41.

14. *Raine D.J.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1975. Vol. 131. P. 517.

БРУНО ПОНТЕКОРВО*

Насколько помнится, в конце 40-х или в самом начале 50-х годов вышло правительственное постановление о строительстве в Дубне протонного ускорителя на 10 ГэВ. Речь шла об ускорителе, в то время самом большом в мире. В этот период Президент Академии наук Сергей Иванович Вавилов, Владимир Иосифович Векслер и я несколько раз посещали Дубну, в частности место, отведенное для будущего ускорителя. Вначале оно представляло собой лишь большую лесистую площадку, ограждаемую колючей проволокой. В это время Дубна была строго закрытым местом.

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 59–63.

В одно из наших посещений мы знакомились со строительством протонного ускорителя на 680 МэВ, которое близилось к завершению.

Вводное сообщение делал директор лаборатории М.Г. Щербаков. Затем он представил нам Бруно Понтекорво. Я знал, что в Дубне появился инкогнито Понтекорво. Имя его не упоминалось даже по телефону, но достаточно было попросить телефонистку соединить "с профессором".

Имя Понтекорво в научной литературе мне встретилось впервые в 1948 г. Дело в том, что в предыдущие годы меня занимал вопрос о природе μ-мезона: является ли μ-мезон, подобно электрону, ферми-частицей или представляет собой бозе-частицу. Мне представлялось, что этот вопрос легко решить, изучая μ-мезоны в космических лучах: конкретнее – распады остановившихся в веществе μ-мезонов. Именно, распадаются ли μ-мезоны на две или на три частицы. В нашей стране уже давно сложилась довольно многочисленная и квалифицированная школа физиков-"космиков", для которых предложенное мной исследование представляло собой несложное дело. Почему-то долгое время мое предложение не встречало охотников его реализовать. Но летом 1948 г. на Памире работала наша группа космиков, и от них, в частности от Г.Б. Жданова, я получил записку о том, что мое предложение опыта было ими реализовано, что спектр электронов распада остановившихся в веществе μ-мезонов оказывается немонохроматическим. Другими словами, речь шла о распадах не на две, а на три частицы. Но в это же время появилась работа Хинкса и Понтекорво на ту же тему [3]. Памирский опыт описан в статье Г.Б. Жданова и А.А. Хайдарова [1]. Она была представлена акад. Д.В. Скобельцыным 27 января 1949 г. К статье дано примечание: "Уже по окончании изложенных опытов авторами получены сообщения о ряде других работ, в частности выполненных по той же методике [3, 7]. Однако все эти работы, выполненные на уровне моря, отнюдь не исчерпывают, а только подтверждают результаты и выводы, изложенные в настоящей статье. В заключение авторы выражают благодарность М.А. Маркову за идею изложенной работы".

Вообще говоря, физику-теоретику, находящемуся в контакте с экспериментаторами, часто приходится высказывать разные соображения, которые оказываются полезными в эксперименте, и авторство их, как правило, забывается. Но в данном случае я благодарен судьбе за сохранение авторства за этой идеей. Скажу откровенно, эта идея мне почему-то очень дорога.

В дальнейшем Бруно Понтекорво, точнее его научный уровень, был известным стандартом мирового уровня ядерной физики, по которому стремились равняться в физическом коллективе Дубны.

На меня большое впечатление произвела экспериментальная работа Б. Понтекорво, посвященная свойствам, как их потом назвали, "странных частиц". С экспериментальным открытием Λ-частиц и K-мезонов обращало на себя внимание появление Λ-частиц в сопутствии K-мезонов. Естественно возникал вопрос, могут ли K-мезоны и Λ-частицы возникать в отдельности. Ускоритель Мещерякова был очень удобен для этого эксперимента, так как энергия ускоренных протонов в этой установке была недостаточна для совместного рождения Λ-частицы и K-мезона. Эксперимент Понтекорво показывал отсутствие одиночного рождения Λ-частиц.

В дальнейшем этот результат объяснялся законом сохранения "странности" этих частиц[1]. В ожидании пуска в Дубне большого ускорителя на 10 ГэВ (1955–1956 гг.) мое внимание было привлечено к возможностям нейтринных экспериментов на этом ускорителе. Валуевым и мной делались соответствующие оценки. В 1957 г. я поручил студенту МГУ болгарину Д.Г. Факирову рассмотреть в его дипломной работе теоретически "возможность исследования взаимодействия нейтрино большой энергии с веществом на ускорителях". Дипломная работа на эту тему была защищена Факировым в 1958 г. Основной вывод: "Другими словами, в настоящее время становится целесообразным обсуждение реального физического эксперимента с нейтрино большой энергии на современных ускорителях". На основе этой работы Факировым была опубликована статья в "Ann. de Univ. de Sofia Fac. de Sci Phys. Math" (1958/1959. Vol. 53).

В дальнейшем расчеты были продолжены Асановым, Валуевым, Полубариновым и мной. На Конференции по физике высоких энергий (Киев, 1959 г.) нами на эту тему был заявлен доклад. Но в самый последний момент мы сняли этот доклад, который должен был состояться в секции Маршака. Особенно мои более молодые сотрудники испугались возможных "криков беотийцев". И в этом был известный резон. (Очень малые сечения ($\sim 10^{-38}$) могли вызвать отрицательную реакцию участников конференции.)

В 1960 г. появилась заметка М. Шварца [6], в которой говорилось: "Эти оценки показывают, что предлагаемый эксперимент находится вне возможности существующих ускорителей на один или два порядка".

Помнится, на одном заседании, посвященном ядерной физике, ко мне подошел академик А. Алиханов. Он был чем-то явно возмущен. В руках он держал экземпляр "Phys. Rev. Lett.". Алиханов извергал громы и молнии именно по поводу статьи Шварца, утверждая, что "неприлично публиковать такие статьи". Я умолчал о том, что еще почти два года назад (1958 г.) я предложил Факирову эту же тему и им была защищена дипломная работа... Правда, наши оценки по сравнению с оценками Шварца были слишком оптимистичными. Выполненный впоследствии Ледерманом эксперимент показал, что истинная возможность эксперимента лежит где-то в середине этих крайних оценок. Но он оказался возможным на уже существовавшем тогда ускорителе. Пуск большого Дубнинского ускорителя на предельные энергии и интенсивности затягивался, и я обратился к обсуждению возможностей нейтринных экспериментов в космических лучах. В том же 1958 г. студентом И.М. Железных была защищена дипломная работа на тему "О взаимодействии нейтрино больших энергий в космических лучах с веществом". Согласно резюме диплома: "Эксперимент с нейтрино больших энергий, рожденных в атмосфере, труден, но не безнадежен. Во всяком случае, имеет смысл обсуждение такого эксперимента. Благоприятным обстоятельством является то, что эксперимент возможно проводить на любых глубинах под землей, достаточных для устранения фона. Есть смысл ставить вопрос о космических нейтрино". Соответствующая работа мной совместно с Железных опубликована в журнале "Nucl. Phys." [5] и несколько ранее (1960 г.) в специальном сборнике по физике нейтрино высоких

[1] См. очерк "Вольфганг Паули" (с. 409–421).

энергий, где опубликованы доклады по физике нейтрино высоких энергий, прочитанные на семинарах в Дубне в 1957–1960 гг.

В 1960 г. на очередной Рочестерской конференции мной была предложена идея глубоководных нейтринных экспериментов, которые получили в литературе краткое название DUMAND. В 1962 г. я из ОИЯИ получил диплом, в котором сообщалось, что на Ученом совете ОИЯИ мне присуждена премия "За цикл работ по физике слабых взаимодействий". Помнится, что в это же время аналогичный диплом получил Бруно Понтекорво.

Во второй половине 50-х годов скопились экспериментальные данные, в частности о запретах на распады μ-мезонов типа

$$\mu^- \to e^- + e^+ + e^-; \quad \mu^- \to e^- + \gamma.$$

В подготовленной мной в то время к печати (1957–1958 гг.) книге "Гипероны и K-мезоны" сделана попытка описания μ-распада:

$$\mu^- \to e^- + \nu + x,$$

где частица x трактовалась как второе по типу нейтрино $x = \nu'$ со своим сохраняющимся числом. Лишь одно курьезное обстоятельство делает целесообразной уместность этих воспоминаний: в этой книге, опубликованной в 1958 г., содержится такая фраза: "Но даже ценой введения второго нейтрино нельзя надеяться получить все существующие запреты и разрешенные переходы с участием легких частиц... Например, нельзя запретить реакцию $\pi \to e + \nu$ или $\pi \to e + \nu + \gamma$".

Дело в том, что в то время экспериментальные данные свидетельствовали с большой точностью о наличии такого запрета [4]. Но впоследствии в ЦЕРНе было показано, что на самом деле такой запрет отсутствует [2].

К большой досаде, я, будучи сторонником идеи существования двух нейтрино, уже не мог внести поправку в свою книгу. Правда, я успел сделать соответствующее примечание в ее немецком издании "Hyperonen und K-mesonen" (1960, S. 269) и даже обсудить возможность экспериментального решения проблемы двух нейтрино на ускорителях (S. 293). На Киевской конференции по физике высоких энергий (1959 г.) в дискуссиях Б. Понтекорво успел кратко упомянуть о возможности различения ν_μ-нейтрино от ν_e-нейтрино, если нейтрино от распада остановившихся π^--мезонов окажется неспособным порождать электроны при взаимодействии с ядрами. Но этот эксперимент требовал создания интенсивных пучков $\pi^\pm$-мезонов на соответствующих будущих мезонных фабриках. Своей идеей о возможности нейтринных осцилляций Бруно Понтекорво увлек всю мировую физику: как экспериментаторов, так и теоретиков. Все мы ждем решения этой проблемы.

Только в 1966 г. состоялось постановление Президиума Академии наук о создании нейтринной лаборатории в Физическом институте им. П.Н. Лебедева. Заведование лабораторией было поручено Г.Т. Зацепину. Задачи лаборатории были определены в области как солнечных нейтрино, так и космических. В постановлении имелся пункт о привлечении к работам лаборатории Б. Понтекорво и М. Маркова. В дальнейшем Б. Понтекорво в течение многих лет принимал активное участие в работах по нейтринной физике в нашей стране как председатель

Научного совета по нейтринной физике, созданного при Отделении ядерной физики АН СССР, а забота о созданной нейтринной лаборатории долгие годы входила в мои обязанности как академика-секретаря Отделения ядерной физики. Не могу не упомянуть о роли тогдашнего академика-секретаря Отделения общей физики и астрономии Л.А. Арцимовича. Он горячо поддерживал решение о создании нейтринной лаборатории. Помню его слова об экспериментах по детектированию солнечных нейтрино. "Конечно, – говорил он, – вероятнее всего, что нейтринный поток от Солнца является продуктом ядерных реакций в глубинах Солнца, но если здесь не сойдутся концы с концами, вот будет веселая история". Теперь мы знаем, что в каком-то смысле эта "веселая история" возникла. Будучи академиком-секретарем Отделения ядерной физики, я одной из своих задач считал содействие солнечному галлиево-германиевому эксперименту (предложенному Кузьминым), задача которого – продолжить хлор-аргоновый эксперимент (в свое время предложенный Б. Понтекорво). Во всем мире производство галлия (в том числе и у нас) было малым. Нам не только удалось убедить руководителей соответствующей отрасли промышленности (галлий – побочный продукт добычи алюминия), но и получить на "хранение" (т.е. бесплатно) десятки тонн галлия стоимостью десятки миллионов рублей.

В настоящее время галлиево-германиевый эксперимент вступил в рабочую фазу. В ФИАНе, где была организована нейтринная лаборатория, со временем основная тематика претерпела существенное изменение, в частности, в связи с успехами лазерной физики в 50-е и 60-е годы. Нейтринная лаборатория развивалась слабыми темпами. Руководство ФИАНа стало сомневаться в целесообразности ее существования. Я неоднократно слышал слова: "Вот, навязали Вы нам эту бесперспективную лабораторию..." И в конце концов мной было принято решение выделить эту лабораторию из состава ФИАНа, создать новый институт – Институт ядерных исследований. Это решение было поддержано Президиумом Академии наук.

Будучи председателем Совета по физике нейтрино, Б. Понтекорво всегда оказывал мне как академику-секретарю Отделения ядерной физики большую помощь во всей моей работе по развитию физики нейтрино в нашей стране, о чем шла речь выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Жданов Г.Б., Хайдаров А.А.* // Докл. АН СССР. 1949. Т. 65. С. 287.
2. *Fazzini T.* // Phys. Lett. 1958. Vol. 1. P. 247.
3. *Hinks E.P., Pontecorvo B.M.* // Phys. Rev. 1948. Vol. 74, P. 97.
4. *Lakantan S., Steinberger G.* // Ibid. 1955. Vol. 98. P. 240.
5. *Markov M.A., Zheleznykh I.M.* // Nucl. Phys. 1961. Vol. 27. P. 385.
6. *Schwarz M.* // Phys. Rev. Lett. 1960. Vol. 4. P. 306.
7. *Steinberger G.* // Phys. Rev. 1948. Vol. 74.

GAUDEAMUS IGITUR...[1]
(из воспоминаний о С.И. Вавилове)*

Кажется, не так уж давно это было. В памяти возникает Леонид Исаакович Мандельштам, он медленно поднимается по лестнице, ведущей в небольшую аудиторию Физического института в старом здании Московского университета. Здесь через несколько минут начинается семинар, которым руководил Леонид Исаакович. За Леонидом Исааковичем, сдерживая свой вечно спешащий шаг, с непривычной степенностью следует молодой, хочется сказать – юный, Игорь Евгеньевич Тамм, как говорили студенты: "Игорь". За ним – неизменно корректный какой-то своеобразной, только ему свойственной корректностью, Григорий Самуилович Ландсберг. Ему как-то не шло привившееся в институте сокращенное "Григс". И юношески стройный, казалось смуглый до черноты, Сергей Иванович Вавилов. Кажется, не так давно это было. А ведь все это было более полувека назад!

В конце 20-х–начале 30-х годов в Физическом институте Московского университета возникла группа физиков, главой которой был Л.И. Мандельштам. В те годы становления квантовой механики многое в ней казалось неясным с точки зрения старых, привычных представлений. Было большой удачей для Московского университета, что здесь во главе группы физиков оказался Л.И. Мандельштам, ученый мирового класса и обаятельный человек. Особо выделяло Леонида Исааковича то, что ему была близка классическая физика волновых явлений во всех их проявлениях: оптических, радиоволновых, звуковых, гидродинамических. Непревзойденный знаток волновых процессов в средах, он обладал уникальной способностью истолкования волновых аспектов в квантовой теории, которая долгое время называлась просто волновой механикой.

Небольшая аудитория наполнялась от отказа. Чаще всего где-то у окна можно было видеть стоящего во весь рост Михаила Александровича Леонтовича, чем-то напоминающего Пьеро, в своей длинной спецовке. Часто бывал жизнерадостный А.А. Андронов, к его цветущему лицу и крепкой фигуре очень шел расстегнутый ворот рубахи без пояса. Там были многие другие, которых давно уже нет...

Семинар был праздником не только для московских физиков, гостями, правда нечастыми, были ленинградцы: Г.А. Гамов, Д.Д. Иваненко, запомнился почему-то ярко-красный галстук Л.Д. Ландау. Были и зарубежные гости. Трудно отказаться от упоминания семинара, на котором присутствовал П. Эренфест. Небольшого роста, подвижный, коренастый, очень оживленный: ему, казалось, невозможно было долго усидеть на одном и том же месте в одной и той же позе. Помнится, он достал из кармана смятое письмо, это была еще неопубликованная работа П. Дирака о следствиях его знаменитого уравнения. Он недоуменно комментировал очень непонятные тогда строчки письма. "Здесь речь идет о каких-то дырках в вакууме, – сбивчиво начал Эренфест. – Эти дырки несут положительный заряд, утверждается, что протоны, – пожимал он плечами. – Если бы это писал не Дирак, – разводил руками Эренфест, – то я бы просто... Но Дирак – гений, вот и разберись тут". Возникло

---

* Размышляя о физиках... о физике... о мире... М.: Наука, 1993. С. 63–70.

[1] "Возрадуемся же..." (лат.) – начало старинного студенческого гимна.

еще какое-то непонятное место письма. Эренфест, наконец, сказал, что ему трудно переводить с английского на немецкий, а потом с немецкого на русский, и попросил Мандельштама прочитать письмо. Когда Леонид Исаакович удачно справился с каким-то темным местом письма, Эренфест порывисто вскочил со стула, похлопал его по плечу, приговаривая по-русски: "Хороший дядя! Хороший дядя!"

На этих семинарах я впервые увидел Сергея Ивановича, увидел издали, с последних скамеек аудитории. Как я мог тогда предугадать, какую роль в моей жизни будет играть этот пока в сущности незнакомый мне человек!

Будучи студентом последних курсов, я "отрабатывал", как тогда говорили, оптический практикум. Он был только что организован М.А. Леонтовичем под руководством С.И. Вавилова. Однажды неожиданно для меня Михаил Александрович Леонтович предложил мне стать аспирантом у Сергея Ивановича Вавилова. Помнится, он сказал примерно следующее: "Я не знаю, как у вас там с теорией, вот Блохинцев, например, четко проявил себя как теоретик. Но я вижу, что руки у вас хорошие и вы могли бы стать экспериментатором". Так я оказался аспирантом, экспериментатором у С.И. Вавилова.

О Сергее Ивановиче написано много. И многое еще можно написать. Но о нем трудно, очень трудно писать так, чтобы возник тот образ, который был бы образом реального Сергея Ивановича. Портреты, скульптура и даже фотографии не дают о нем адекватного представления, упрощают. В них нет того шарма, которым обладал Сергей Иванович. Вы не видите внимательного, как бы изучающего вас взгляда его больших и теплых карих глаз. Вы не слышите характерных низких нот его, вавиловского, голоса с его покашливанием, его, вавиловского, юмора, его специфического жеста, когда, склоняясь набок, он достает из кармана папиросы, в то же время как бы привязывая вас к себе внимательным взглядом.

По предложению Сергея Ивановича я стал заниматься фотоэффектом, проверкой одного наблюдения, сделанного физиком Марксом. В моем распоряжении был лишь старый фотоэлемент, которым, по преданиям, много лет назад пользовался Г.С. Ландсберг для наблюдения, кажется, солнечного затмения.

Моя аспирантская работа у Сергея Ивановича была недолгой. После выборов в действительные члены Академии наук Сергей Иванович уехал в Ленинград научным руководителем Оптического института, но в 1934 г. в связи с переездом Академии наук в Москву он стал директором организованного им ФИАНа. С этого года я стал сотрудником теоретического отдела ФИАНа, руководимого И.Е. Таммом. ФИАН был детищем Сергея Ивановича, его созданием, хотя он по предложению Сергея Ивановича носит имя Петра Николаевича Лебедева. Вавилов как глубокий знаток истории физики относился с особым уважением к научным заслугам Петра Николаевича Лебедева.

В это время я уже не был аспирантом Сергея Ивановича, но наши отношения не только сохранились, но постепенно расширились и углубились взаимным интересом к философским проблемам физики и к физике элементарных частиц. Это было время быстрого накопления данных о новых элементарных частицах. Неожиданно оказалось, что мир устроен не так просто, как это думалось раньше.

Новая теория материи – квантовая – давала много поводов для размышлений и дискуссий. Наши беседы иногда длились часами. Они часто начинались с харак-

терного для Сергея Ивановича вопроса: "Ну, что там у вас, какие чувствуются флюиды?" Это значило: что нового за последнее время появилось в теоретической физике, физике элементарных частиц? Когда он зажигал папиросу и усаживался поудобнее в кресло, это значило, что время у него есть и он готовится к длительной беседе. Сергей Иванович умел создавать уютную обстановку, непринужденность беседы. Казалось, что в комнате становится теплее и речь идет не о сложных научных проблемах[2].

Время от времени на сообщение о новой частице он характерным баском вставлял замечание: "Что ни сезон, то мезон", или что-нибудь в этом роде. Он обладал удивительным умением почувствовать те проблемы, которые вас в настоящее время занимают, и с ним было легко говорить об идеях, которые еще не вполне четко удавалось сформулировать. Помнится, как-то в такой момент Сергей Иванович продекламировал из "Фауста": "Словами диспуты ведутся, из слов системы создаются". "Фауст" был его любимым произведением.

Однажды я рассказал Сергею Ивановичу о занимавшей меня в то время идее связи гравитации с электромагнетизмом. Связи в том смысле, что вращающееся магнитное тело, электрически нейтральное, должно обладать магнитным моментом. Эти смутные идеи подкреплялись гипотетическими соображениями, а численные оценки приводились исходя из рассмотрения размерностей. Я был удивлен тем интересом, с которым Сергей Иванович отнесся к этим слишком спекулятивным идеям. В последующие месяцы он неоднократно спрашивал о моей дальнейшей работе в этом направлении. К этому времени я несколько охладел к обсуждаемой проблеме, так как соответствующая строгая теоретическая формулировка, требующая изменения уравнения Эйнштейна, говоря жаргонным языком, не "вытанцовывалась". Но Сергей Иванович настойчиво и многократно возвращался к разговорам на эту тему и однажды вызвал А.Б. Меликьяна, сотрудника лаборатории колебаний, для обсуждения возможного эксперимента, возможной скорости вращения массивного шара в таком эксперименте. "Здесь надо бы иметь человека с головой и руками Брумберга"[3], – между прочим заметил Сергей Иванович.

В этом замечании нашло свое отражение и отношение Сергея Ивановича к экспериментальной работе вообще. Оно хорошо описано А.Л. Минцем в "Ночной беседе" [2], помещенной в сборнике воспоминаний о С.И. Вавилове: «Сергей Иванович видел и понимал тенденции современного эксперимента к созданию сложных установок, требующих больших коллективов. Но он не исключал и путь "тонкого" и изящного эксперимента, где творческий полет фантазии дополняется умением лично создавать простые приборы и получать тем не менее результаты фун-

---

[2] Иногда речь шла действительно о "несложных проблемах". Тогда чаще всего Сергей Иванович с большим юмором рассказывал о случаях из военной службы во время войны 1914 г. Сергей Иванович очень остро чувствовал юмор положения. И когда возникала какая-то комическая ситуация, даже в "обществе" ему было трудно удержаться от слишком откровенной реакции, которой он сам бывал недоволен, и свой "проступок" спешил сразу же компенсировать более суровым выражением лица.

[3] Талантливость Е.М. Брумберга – своего лаборанта, в дальнейшем ученика и сотрудника – Сергей Иванович высоко ценил. Трудно себе представить, как при поразительной рассеянности Брумберга работа его была такой успешной. Помнится, как-то раз он остановил меня в вестибюле института и в обычной своей манере, слегка заикаясь, сказал: "Я бы хотел услышать от вас отзыв об одной книге... Что вы о ней думаете? Вот только я забыл ее название... И автора забыл..."

даментального значения». Открытием эффекта Черенкова–Вавилова Сергей Иванович дал блестящий пример такой возможности.

Как-то в конце 1946 г. Сергей Иванович обратился ко мне с просьбой написать брошюру, как он сказал, "о ваших взглядах на философские проблемы квантовой механики". "Это не только моя личная просьба", – подчеркнул Сергей Иванович. Я упорно отказывался, но Сергей Иванович был настойчив: "Вы хотите накрыться хвостом и уйти в кусты? Это вам не удастся". Хотя я не понял буквального смысла начала фразы "накрыться хвостом", но я понял, что не могу больше сопротивляться, и приступил к работе.

Я предупреждал Сергея Ивановича, что результатом будет острая дискуссия, которая осложнится тем, что при обсуждении методологических проблем путают проблемы конкретных наук с проблемами чисто философскими, относящимися к само́й теории познания. Это наследие натурфилософии прошлого. Оно принесло много вреда конкретным наукам. Утверждение Аристотеля о движении по кругу как наиболее простом движении, осуществляемом в природе, в известной степени мешало развитию классической механики. А толкование И. Кантом пространства и времени как наглядных представлений априори утверждало, в сущности, единственность евклидовой геометрии. Так, с диалектическим материализмом иногда неправомерно связывалась судьба конкретных физических теорий. Но изменчивость конкретных физических теорий при такой ситуации ведет к подрыву доверия к философии диалектического материализма. Эта опасность для диалектического материализма многократно была объектом наших бесед с Сергеем Ивановичем.

После появления в "Вопросах философии" моей статьи с предисловием Сергея Ивановича разразилась острая дискуссия, характерная для того времени. В своей статье В.И. Векслер слегка касается этой дискуссии [1].

В то время (1947 г.) в ФИАНе работала установка "Тройка" – циклический ускоритель электронов на 30 МэВ. Ставились первые эксперименты по рождению π-мезонов на ядрах от γ-квантов (1949 г.) на запускаемом электронном ускорителе с энергией до 250 МэВ. Возникла идея строительства большого ускорителя на 10 ГэВ. Высказывались различные точки зрения на то, какие частицы должны быть объектом этого ускорителя: электроны или протоны. ФИАН высказался за электронный вариант. В пользу этого варианта был опыт ФИАНа в строительстве электронных ускорителей. Группа физиков, так или иначе связанная с Институтом атомной энергии, защищала протонный вариант. Одним из доводов было также успешное строительство в Дубне протонного ускорителя М.Г. Мещерякова[4].

В пользу протонного варианта была и общая идея о необходимости исследования природы ядерных сил в непосредственных взаимодействиях ускоренных протонов с ядрами мишени. Эффекты этих взаимодействий могли бы дать соответствующую информацию. Сторонники протонного ускорителя высказывали возражение против варианта электронного, утверждая, что электромагнитное взаимодействие не даст столь богатой информации о природе ядерных сил по сравнению с протон-

[4] О протонном ускорителе М.Г. Мещерякова – синхроциклотроне на 650 МэВ Объединенного института ядерных исследований см. в упоминавшейся статье А.А. Минца "Ночная беседа" [2].

ным вариантом. Утверждалось, что при взаимодействии фотонов большой энергии в кулонном поле ядра будут рождаться пары электрон-позитронные, хорошо изученные к тому времени, в частности в работах И.М. Франка, Л.В. Грошева. Но эти факты не приблизят нас к пониманию ядерных сил. В то время в многочисленных беседах с Сергеем Ивановичем я, в частности, настаивал на электронном варианте. Высказывал соображения о возможности рождения одиночных мезонов от фотонов на ядрах и о том, что эффект этот, как показывали сделанные к тому времени расчеты (А.М. Балдин, В.В. Михайлов), мог бы дать указание о природе рождающихся мезонов (скалярные, векторные, псевдоскалярные) и, таким образом, дать фундаментальные сведения о природе ядерных сил, квантами которых являются мезоны[5]. Вполне естественно, что в то время имелись различные точки зрения. Все же после дискуссий приняли вариант протонного ускорителя на 10 ГэВ, который и был построен в Дубне.

Эти воспоминания не могут служить ни обоснованием того, что было несправедливо принято решение о строительстве протонного варианта, ни подтверждением того, что точка зрения сторонников электронного варианта была априори правильна. Такова история, такова логика развития науки.

Мне неоднократно приходилось ездить с Сергеем Ивановичем и В.И. Векслером на место строительства ускорителей в Дубну. "Мещеряковский" ускоритель находился в стадии пуска. Для строительства ускорителя на 10 ГэВ Векслера в то время только выделялась площадка. Трехчасовой путь от Москвы до Дубны давал широкие возможности для разнообразных дискуссий.

За много лет общения с Сергеем Ивановичем только однажды разговор отличался своей необычностью, он скорее был монологом. Я написал статью, которую Сергей Иванович представил в ДАН (1950 г.)[6]. Речь шла о взаимодействии протона и нейтрона с испусканием мезона, но таком взаимодействии, в результате которого в конечном счете образуется дейтон. Неожиданно для меня расчет показал, что конечное взаимодействие нуклонов значительно увеличило вероятность подобного эффекта. Так как этот результат в то время казался существенно новым, то я несколько превысил установленные размеры статьи. Сергей Иванович ввел жесткие правила, ограничивающие размеры публикации в ДАН. На моей рукописи была его резолюция: "Сократить до принятых размеров". Сократив статью, я пришел к Сергею Ивановичу сказать, что его распоряжение выполнено. В это время из кабинета Сергея Ивановича был слышен, что называется, "крупный

---

[5] На ускорителе ФИАНа, получившем название С-25, ожидались первые результаты эксперимента по взаимодействию фотонов с энергией 250 МэВ на ядрах. Как раз в это время в иностранной литературе появилось первое сообщение о рождении π-мезонов от фотонов. Сергей Иванович был очень озабочен и настойчиво меня допрашивал: "одиночное или парное" это рождение. Так как для парного рождения в этой установке не хватало энергии, то речь шла, безусловно, об одиночном рождении π-мезонов. Поняв ситуацию, Сергей Иванович облегченно глубоко вздохнул и шутливо перекрестился. Ведь он защищал в дискуссиях возможность одиночного рождения мезонов от фотонов. Видимо, не всегда это было просто. Почти в то же время на фиановском ускорителе (так называемой "двадцатьпятке") стали получаться, так сказать, отечественные π-мезоны.

[6] Имеется в виду статья: *М.А. Марков*. Мезонные эффекты на дейтоне // Докл. АН СССР. 1950. Т. 21. С. 655–658. – *Примеч сост.*

разговор", а вскоре оттуда вышел сотрудник института, держа в руках, как и я, какую-то рукопись. Со статьей в руках я вошел в кабинет Сергея Ивановича и только успел произнести: "Сергей Иванович, я..." – Сергей Иванович тут же резко перебил меня: "Я знаю, сейчас вы будете говорить, что сократить статью невозможно..." – "Сергей Иванович, я сок..." – "Дважды не будем обсуждать, сократите и все". – "Сергей Иванович, я же..." – "Слушайте, зачем же мы будем продолжать бесполезный разговор? Каждый приходит ко мне (он, видимо, имел в виду только что вышедшего от него сотрудника института) и говорит, что сократить статью невозможно. Вы знаете, сколько нам дают минут на доклад по важнейшим вопросам Совмина? Вот, сократите и все!" Мне оставалось только уйти и передать свою сокращенную рукопись референту Сергея Ивановича – Анне Илларионовне.

Несмотря на существенную разницу в возрасте, Сергей Иванович никогда не казался мне старым человеком. Этому, по-видимому, способствовала его форма общения и поведения. Теперь все-таки вспоминается, как медленно он поднимался по лестнице института в последние годы, как, по-видимому, тяжел был для него известный всем, туго набитый черный портфель. Но усилием воли он старался казаться прежним Сергеем Ивановичем.

Я бы не был удивлен, если бы и тогда в какой-нибудь студенческой компании он подтянул бы басом, как, вероятно, он и делал в прежние студенческие Татьянины дни: "Gaudeamus igitur..."

Известие о его смерти было для меня настолько неожиданным, что я некоторое время не мог понять, о ком идет речь. И дальше только рассеянно повторял: "Не может быть этого, это какая-то ошибка". Но ошибки не было. Смерть Сергея Ивановича воспринималась мной как одна из смертей близких людей, когда внезапно переоцениваются жизненные ценности и многое освещается каким-то другим, не прежним светом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Векслер В.И.* С.И. Вавилов в ФИАНе // С.И. Вавилов: Очерки и воспоминания. М.: Наука, 1979.

2. *Минц А.Л.* // Там же. С. 182.

С.И. ВАВИЛОВ И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ*

Сергей Иванович был ученым с очень широкими научными интересами, и представление о нем будет неполным, если не вспомнить его книгу "Экспериментальные основания теории относительности". Книга появилась в 1928 г. в серии

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 70–73.

"Новейшие течения научной мысли"[1]. Немногим больше тридцати лет было Сергею Ивановичу, когда он писал ее, но в тексте книги уже ярко выражена индивидуальность Сергея Ивановича, характерный для него исторический подход в изложении проблем физики.

К каждой главе своей книги Сергей Иванович находит интересную цитату из Ньютона, и всегда она оказывается удачным эпиграфом к содержанию главы. Эпиграфами как бы протягивается цепочка мыслей от Ньютона к Эйнштейну, и они никогда не выглядят назойливой претензией на утверждение какого-то приоритета. Их содержание вполне укладывается в удачно найденную фазу предисловия: "Эпиграфы из Ньютона напоминают, что многие постулаты и следствия теории относительности не казались совсем неожиданными и неприемлемыми даже создателю классической физики".

Сергей Иванович использовал цитаты из Ньютона с удивительным тактом: "Вот вам цитата, – как бы говорит автор книги, – об остальном судите сами". Эпиграфы приглашают читателя к размышлению. Слова, как бы в раздумье сказанные Ньютоном: "*Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы отнести места и движения прочих тел*", украшают главу II "Опыт Майкельсона, его повторения и аналогии".

Главу III "Вихревой оптический эффект Саньяка и опыт Майкельсона с суточным вращением Земли" украшает ньютоновский эпиграф: "*Я не знаю, что такое эфир*".

К главе IV "Эквивалентность массы и энергии" трудно найти в сочинениях Ньютона более подходящий эпиграф: "*Не обращаются ли большие тела и свет друг в друга?.. Превращение тел в свет и света в тела соответствует ходу природы, которая как бы услаждается превращениями*".

К главе V "Вращение планетарных орбит" дается также очень уместный эпиграф: "*Тяготение к Солнцу... убывает в точности пропорционально квадратам расстояний даже до орбиты Сатурна, что следует из покоя афелий планет и даже до крайних афелий комет, если только эти афелии находятся в покое*". Автор книги при этом только разрешил себе без каких-либо комментариев выделить курсивом конец последней фразы текста Ньютона. Читатель сам должен понять, что если бы во времена Ньютона был открыт эффект движения перигелия Меркурия, то пришлось бы искать причину этого эффекта, выходя за пределы ньютоновской теории тяготения.

Книгу открывает эпиграф: "*Вывести два или три общих начала движения из явлений и после этого изложить, каким образом свойства и действия всех телесных вещей вытекают из данных начал, – было бы очень важным шагом в философии, хотя бы причины этих начал и не были открыты*". Это очень удачное решение – открыть именно этим эпиграфом книгу по теории относительности.

---

[1] Кстати, в этой серии в это же время в переводе С.И. Вавилова вышла книга Д. Джинса и А. Эддингтона "Современное развитие космической физики" [1].

Изложить "свойства и действия всех телесных вещей" исходя из небольшого числа "общих начал" – значит строить теорию явлений физического мира по аналогии с тем, как геометрия была построена Евклидом, т.е. аксиоматически, – это то, что сделал впервые Ньютон в области классической механики. Это то, что сделал Эйнштейн в своей теории относительности.

После Евклида и Ньютона строить теорию физических явлений аксиоматически стало общей тенденцией науки, и неудивительно, что мысль Ньютона о цели науки, ее "важном шаге" можно найти и в текстах Эйнштейна. Обращает на себя внимание, что эпиграф кончается так: "...хотя бы причины этих начал и не были открыты". Эта фраза, как бы сказанная мимоходом, носит оттенок некоторого сожаления и не воспринимается как важная и существенная. Но два столетия спустя можно найти у Эйнштейна расшифровку этой фразы. Вернее, независимо высказанную мысль о "дерзкой мечте" в познании природы. В докладе А. Эйнштейна на юбилее профессора Стодолы (Лейпциг, 1929 г.) сказано: "Если говорить честно... мы хотим не только знать, как устроена природа (и как происходят природные явления), но и по возможности достичь цели, может быть утопической и дерзкой на вид, узнать, почему природа является именно такой, а не другой. В этом состоит прометеевский элемент научного творчества... Для меня в этом заключается постоянное очарование научного мышления".

Эту мысль Эйнштейн расшифровывает в замечании своему ассистенту Эрнсту Штраусу: "Что меня действительно интересует, так это то, мог ли Бог создать мир по-другому". Необходимо знать не только общие "начала", но и "причины этих начал". Почему эти начала такие, а не другие...

По-видимому, только у Ньютона и у Эйнштейна спустя два столетия можно найти такие формулировки фундаментальной цели познания.

С.И. Вавилов, будучи экспериментатором, никогда не вторгался в область теории относительности. Но может быть, небезынтересно упомянуть, что такие намерения у Сергея Ивановича возникали. Дело в том, что в одной из частных моих бесед с Сергеем Ивановичем (зимой 1946/47 г.) я рассказал ему о своей идее связать появление магнитного момента у небесных тел (в частности, у Земли) с вращением гравитирующей массы. Меня поразила тогда простота связи выражения магнитного и вращательного моментов в формуле $M = \varkappa^{1/2} p / c$, где M и p – магнитный и вращательный моменты тела, $\varkappa$ – гравитационная постоянная, c – скорость света. В то время я пытался получить эту формулу, как-то видоизменив уравнения общей теории относительности. Сергей Иванович с большим интересом отнесся к этой идее и в последующие дни часто специально вызывал меня для дальнейших обсуждений этой проблемы. Сергей Иванович сообщил мне, что П.Н. Лебедев уже ставил в конце своей жизни эксперимент по определению возможного магнитного момента вращающегося тела, и стал серьезно обсуждать возможность повторения такого эксперимента в современных условиях. Но как-то весной 1947 г. я явился в кабинет Сергея Ивановича по его срочному вызову. В руках его был свежий номер журнала "Британский союзник", издававшегося тогда на русском языке, где в Королевском обществе в Лондоне излагалась та же идея о возможной связи магнитного момента Земли с ее

вращательным моментом и обсуждалась возможность соответствующих лабораторных опытов[2]. "Что, прошляпили..." – помнится, не без горечи сказал Сергей Иванович. К тому времени я уже охладел к этой идее, так как получить этот результат из модифицированной общей теории относительности не удавалось. А удивившая меня возможность ввести формальную связь между магнитным и вращательным моментами также, как выяснилось, не являлась новостью.

П.Н. Лебедев предполагал, по словам Сергея Ивановича, продолжить исследования с более чувствительной аппаратурой. Но 1912 г. был последним годом его жизни. Из доклада Блэкетта следует, что опыты П.Н. Лебедева (1911 г.) были повторены Соунном и Лонгейкром в 1928 г. Этим авторам, так же как и Блэкетту, опыты П.Н. Лебедева, по-видимому, не были известны.

Конечно, интерес Сергея Ивановича к возможной связи между магнитным моментом и вращением гравитирующей массы определялся не только его в высшей степени высоким уважением к научной интуиции П.Н. Лебедева. В беседах Сергей Иванович часто высказывал убеждение о существующей связи между различными силами природы, и естественно, с его точки зрения, подозревать какую-то связь между явлениями электромагнитными и гравитационными.

В настоящее время возникают различные схемы великого объединения взаимодействий в природе. Но пока в существующих схемах гравитационные поля ни в какой степени и ни при каких обстоятельствах не вызывают появления полей электромагнитных. Не исключено, что в будущих схемах объединения полей такая возможность в каком-то виде появится.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Джинс Д., Эддингтон А.* Современное развитие космической физики. М.; Л.: Госиздат, 1928.

2. *Лебедев П.Н.* // Журн. Рус. физ.-хим. о-ва. Часть. физ. 1911. Т. 45. С. 484.

3. *Марков М.А.* // Вопр. истории естествознания и техники. 1981. № 3.

СЛОВО НА ЮБИЛЕЕ И.Е. ТАММА*

В последнее время Общество рыболовов-спортсменов сильно озабочено слабым ростом прослойки лауреатов Нобелевской премии среди его членов. На президиуме Общества много раз обсуждалось, почему И.Е. Тамм – не член общества, какими силами можно было бы исправить положение?

---

[2] Хотя соображения Блэкетта часто упоминаются в литературе при обсуждении различных гипотез о происхождении магнитных моментов небесных тел, однако, по-видимому, считается, что эти гипотезы не подтверждаются существующими экспериментальными данными. Я делюсь своими воспоминаниями о Сергее Ивановиче в институте П.Н. Лебедева, и, может быть, небезынтересно напомнить, что эксперимент, о котором идет речь, докладывался П.Н. Лебедевым в работе "Магнитометрическое исследование вращающихся тел, сообщение первое" [2].

П.Н. Лебедевым была построена установка, в которой испытуемое тело – кольцо диаметром 6 см – приводилось во вращение со скоростью 30000 об./мин. Опыты дали отрицательный результат.

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 73–74.

Конечно, в первую очередь подвергались обсуждению β-силы, что вполне понятно, так как известно, что β-силы, теоретически открытые И.Е. Таммом, и этот таммовский подход сыграли огромной важности роль в науке последних трех десятилетий, но, как показано Таммом, эти силы очень слабы и поэтому не могут оказать существенного влияния на решение проблемы, интересующей Общество рыболовов-спортсменов.

Но Общество надеется, что настанет время, когда И.Е. Тамм появится в среде рыболовов-спортсменов и, двигаясь в этой среде со сверхсветовой скоростью, будет обязан излучать по его же формулам кипучую энергию, которая поднимает значение нашего Общества на самые высокие, так называемые таммовские, уровни.

Мне поручено передать скульптурный образ рыболова-спортсмена, образ усредненный по всему классическому ансамблю рыболовов-спортсменов со словами: "Игорю Евгеньевичу, человеку, который охотно искривляет пространство, но никогда не кривит душой".

По поручению ОРС М.А. Марков.

ПРИВАТНЫЙ ДОЦЕНТ МАНДЕЛЬШТАМА*

В воспоминаниях есть что-то очень своеобразное, свой "принцип отбора". Ведь об Игоре Евгеньевиче, которого я знал не один десяток лет, можно было бы вспомнить очень многое. С жизнью и творчеством Игоря Евгеньевича связан значительный этап в развитии нашей науки. И индивидуальность его исключительная.

А на память приходит совсем что-то не то... Мелочи... картина, в которой, казалось бы, нет ничего примечательного. Но почему-то я так отчетливо, как будто это было вчера, вижу, в вестибюле Физического института Московского университета[1] незнакомого мне человека: у него возникла какая-то неудача с калошей. Он то скакал на одной ноге за убегающей калошей, то прижимал ее к стенке гардероба. Борьба с калошей продолжалась настолько долго, что так и хотелось сказать ему – ведь надо просто помочь руками – и все... Но было ясно, что он хотел надеть калоши таким и только таким способом. Когда пришел успех, он победно осмотрел нас – меня и служителя гардероба, широко улыбнулся и, слегка склонив голову набок, заспешил к выходу. Старый гардеробщик тоже с интересом наблюдал за состязанием с калошей. После он значительно поднял палец и сказал доверительным шепотом: "Игорь Евгеньевич Тамм – приватный доцент Мандельштама", – и снова значительно поднял палец.

В другой раз вскоре я встретил Игоря Евгеньевича на Арбате. Он быстро шел по направлению к Арбатской площади. Я знал, что в это время он читал лекции, кажется, по механике, во Втором МГУ – так тогда называлось учебное заведение

---

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 74–75.

[1] Имеется в виду Физический институт при физическом факультете МГУ на Моховой. – *Примеч. сост.*

на Девичьем поле. Помня характеристику университетского служителя, ее почтительную значительность ("приватный доцент Мандельштама"), я, может быть, слишком внимательно посмотрел на него. Мне показалось, что он, как и тогда в вестибюле, широко мне улыбнулся, прежде чем заспешить дальше. Но, глядя вслед поспешно удалявшемуся Игорю Евгеньевичу, я почему-то понял, что улыбался он не мне, а какой-то своей идее, за которой, казалось, он так бежал по Арбату...

Шли годы трудов, исканий, надежд и разочарований – все то, чем наполнены наши будничные и праздничные дни. И вот опять всплывает мелочь воспоминаний. Это было перед самой войной, на Миуссах, где тогда помещался ФИАН. Сидя на подоконнике и дымя папиросой, Игорь Евгеньевич оживленно рассказывал о своих вчерашних лыжных успехах на Ленинских горах. Ему очень хотелось спуститься с какой-то крутой горы, но путь все время был занят ребятишками: они не предполагали, что этот по виду пожилой человек, заросший седоватой щетиной, отважится спуститься с опасной кручи. Наконец нетерпение его было замечено, и кто-то громко воскликнул: "Ну дайте же старичку убиться!" Игорь Евгеньевич с гордостью рассказывал, что он выдержал испытание "и даже не упал там, где обычно падали ребята".

Игорь Евгеньевич никогда не "падал" и в переносном смысле этого слова: он был кристальной чистоты человек.

Обсуждать с ним научные проблемы всегда было очень полезно. Но критиком он был плохим, вернее, "нетрудным". Ему мешала его удивительная благожелательность: он быстро становился на вашу точку зрения и развивал перспективы идеи:

– Интересно... очень интересно..., – часто (но не всегда) разговор заканчивался такими словами.

– Обязательно расскажите, что получится дальше...

Благожелательность эта не была просто холодной вежливостью, и она окрыляла.

Сам Игорь Евгеньевич работал самозабвенно – он вычислял ночами. Он часто приходил в институт усталый до изнеможения, но полный надежд в еще незавершенных расчетах. Он и здесь вел непрерывные упорные "состязания". Иногда после многих дней попыток "калоши" так и не надевались. И он говорил: "Ну, сегодня идея лопнула окончательно". Но появлялась новая идея...

Большое счастье для Игоря Евгеньевича, что около него всегда был такой человек, как Наталия Васильевна, с ее тактом, спокойной рассудительностью. Чувствовалось, что Наталия Васильевна как бы дополняет до жизненной целостности образ Игоря Евгеньевича, что Игорю Евгеньевичу необходима ее помощь. Речь идет не о той помощи, которая, может быть, была бы полезна в вестибюле Физического института... Речь идет о значительном и важном в жизни Игоря Евгеньевича, и все понимали, что Наталия Васильевна была ангелом-хранителем Игоря Евгеньевича.

В памяти есть какая-то своя логика. Может быть, эта логика памяти и отбирает то существенное, что субъективно видится в этих воспоминаниях.

ФРЕДЕРИК РЕЙНЕС*

На Женевской конференции 1962 г. я впервые встретил профессора Ф. Рейнеса. Он подошел ко мне, держа в руках оттиск какой-то статьи. Оказалось, что это статья И.М. Железных и моя, которая была опубликована в 1961 г. в журнале "Nuclear Physics" под названием "О физике нейтрино высоких энергий в космических лучах". Статья в основном содержала материал дипломной работы студента МГУ И.М. Железных по предложенной мною теме: "О взаимодействии нейтрино больших энергий в космических лучах с веществом"[1]. Результат дипломной работы, защищенной в 1958 г., суммировался фразой: "Эксперимент с нейтрино больших энергий, рожденных в атмосфере, труден, но не безнадежен. Во всяком случае, имеет смысл обсуждение возможностей такого эксперимента. Благоприятным обстоятельством является то, что эксперимент возможно проводить на любых глубинах под Землей, достаточных для устранения фона... Есть смысл ставить вопрос о космических нейтрино".

Помнится, профессор Рейнес задал вопрос, имеются ли в Советском Союзе какие-либо попытки организовать предложенный нами эксперимент? Естественно, что в стране обсуждалась возможность реализации данного эксперимента. А.А. Поманский по моей просьбе обследовал существующие у нас шахты, пещеры и другие подземные пустоты, пригодные для расположения соответствующих детекторов нейтрино. В результате большой работы, проделанной А.А. Поманским, выяснилось, что подходящих пустот для проведения данного эксперимента нет. Возник вопрос о необходимости создания соответствующего искусственного подземного сооружения.

И в 1966 г. было принято решение о строительстве искусственного подземного сооружения. Этим было положено начало мировой глубокоподземной физике в искусственных помещениях, которая в настоящее время получила большое развитие, особенно в Италии.

Уже в письме ко мне от 13 ноября 1963 г. Ф. Рейнес сообщает о конструировании им детектора размером 300 м^3, который предполагается разместить в шахте на глубине 2 мили, и о том, что его беспокоит фон μ-мезонов космических лучей, идущих сверху. Кстати, эта задача была блестяще решена на значительно меньших глубинах в подземной установке в искусственной шахте на Баксане (Кавказ).

В дальнейшем внимание Ф. Рейнеса привлек предложенный мной глубоководный вариант детектирования "мюонного нейтрино в океане и глубоких озерах" (Рочестерская конференция по физике высоких энергий, 1960 г.), который вошел в литературу под названием ДЮМАНД (Deep Underwater Muon and Neutrino Detector). В конце 70-х годов по инициативе Ф. Рейнеса организовывается в Гонолулу (Гавайи) группа энтузиастов ДЮМАНДа. Летом 1979 г. в Хабаровске состоялся 14-й Тихоокеанский конгресс, одна из секций которого была посвящена обсуждению глубоководных установок типа ДЮМАНД. К сожалению, Ф. Рейнес в это

---

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 76–83.

[1] Имеется в виду статья "On High-Energy Neutrino Physics In Cosmuc Rays" (см. т. I настоящего издания, с. 330–338). – *Примеч. сост.*

время находился в Японии, где проходила конференция по космическим лучам, где, в частности, обсуждались также проблемы ДЮМАНДа. На Тихоокеанском конгрессе Рейнеса представлял его ближайший и активный сотрудник Лейрнид. Из Японии Рейнес в качестве председателя Управляющего комитета ДЮМАНД обратился к нам со специальным письмом (факсимиле письма см. на рис.):

16 августа 1979 г.

Академия наук СССР
Академику М.А. Маркову

Глубокоуважаемый профессор Марков!

Уже почти двадцать лет назад Вы с сотрудниками в СССР указали на то, что нейтрино, образующиеся в земной атмосфере и приходящие от внеземных источников, можно было бы регистрировать. Последующие события показали, что Вы были правы в отношении атмосферных нейтрино, и сейчас, как Вы знаете, ученые группируются под эгидой проекта ДЮМАНД для изучения этого интересного явления космического излучения в крупномасштабном эксперименте. Мы обсуждаем возможность использования этих нейтрино для исследования слабых взаимодействий при энергиях в сверхускорительной области энергий и, что, возможно, еще более увлекательно, – регистрации нейтрино от астрофизических объектов.

Главные черты проекта ДЮМАНД определяются редкостью "дождя" нейтрино космических лучей, усугубляемого ничтожными величинами сечений, что заставляет рассматривать детекторы с объемами, измеряемыми кубическими километрами. Мы приходим, таким образом, к гигантскому черенковскому детектору в глубинах океана и разработке беспрецедентного по масштабам количества соответствующей аппаратуры.

На каком этапе мы находимся сейчас?

Изучение проблемы в течение последних нескольких лет убедило нас в возможности сооружения столь большого детектора. Как можно судить по многим работам, связанным с ДЮМАНДом, которые были представлены на специальном симпозиуме – Конференции по космическим лучам в Киото, имеется все увеличивающаяся литература по проблемам астрофизики и сверхускорительной физике высоких энергий, изучение которых может оказаться возможным в рамках ДЮМАНДа. Мы сформулировали обширный круг вопросов в теории и в эксперименте, которые должны быть тщательно изучены, с тем чтобы более точно определить ожидаемый научный эффект и стоимость проекта, что, в свою очередь, позволит оценить реальность создания полномасштабной установки ДЮМАНД.

До последнего времени проблемная международная группа ДЮМАНД работала, имея небольшое специальное финансирование. Результаты работы оказались настолько обнадеживающими, что мы убедились в необходимости расширения ее масштаба, с тем чтобы более определенно изучить возможность реализации проекта ДЮМАНД. В связи с этим я рад информировать Вас, что нам удалось получить на следующий год федеральное финансирование в сумме около 250 тыс. долларов на проведение океанографического изучения района размещения системы ДЮМАНД и на разработку аппаратуры.

В эти ассигнования включены средства на создание Центра ДЮМАНД на Гавайях, где с 1 января 1980 г. у нас будет небольшой постоянный штат, который образует существенное ядро проекта ДЮМАНД.

Мне бы хотелось, чтобы СССР принял участие в нашей деятельности, включая присутствие приглашенных советских ученых в Центре на Гавайях.

Сейчас целесообразно должным образом соединить ресурсы всех заинтересованных в проекте ДЮМАНД сторон, с тем чтобы выполнить изучение возможности реализации

проекта в течение нескольких ближайших лет. Примерно к этому сроку, я надеюсь, мы составим убедительное обоснование постоянной программы, направленной на осуществление эксперимента ДЮМАНД в полном масштабе, и появится возможность финансирования работ по его реализации.

Сейчас мы взяли хороший "разбег", и самое время обсудить с нашими научными коллегами программу и ресурсы, необходимые для осуществления нашей цели. Мы должны принять решение по организационной структуре, которая бы обеспечивала наилучшее использование ресурсов, которыми располагают во всем мире ученые, заинтересованные в проекте. Много обсуждений посвящено этой теме здесь, в Киото, и еще больше будет на гостеприимной встрече в СССР, в Хабаровске и Иркутске.

Можно мне закончить личными обязательствами?

Как человек, связанный с ДЮМАНДом со времени его возникновения, я оптимистически настроен и уверен, что при должном терпении и усилиях проект заработает и принесет обильный урожай научных данных и всех благ, которые вытекают из международного сотрудничества. Я предчувствую, что обсуждения в СССР помогут разработке научных основ и программы ДЮМАНДа, и крайне сожалею, что не смогу присутствовать на этих заседаниях.

В особенности мне жалко упускать предоставляемую этими заседаниями возможность обсудить поглубже с Вами ДЮМАНД. Ввиду Вашей роли в концепции ДЮМАНДа, как в историческом аспекте, так и в ее текущем развитии, я был бы рад специально посетить Вас в Москве для обсуждения в первую очередь с Вами состояния и перспектив ДЮМАНДа. Если Вы сочтете такую встречу целесообразной, позвольте предположить, чтобы она состоялась где-то в октябре.

С наилучшими личными пожеланиями прогресса ДЮМАНДа.

Искренне Ваш *Ф. Рейнес*

Профессор физики,
Председатель Управляющего
комитета ДЮМАНД

International Union of Pure and Applied Physics
SIXTEENTH INTERNATIONAL COSMIC RAY CONFERENCE
Kyoto, Japan, 1979



Secretariat:
Inst. for Cosmic Ray Res., Univ. of Tokyo
3-2-1, Midori-cho, Tanashi, Tokyo
188 JAPAN

Telephone: 0424-61-4131
Telex: 02822371 ICRTU J
Cable: ICRTOKUNIV TANASHI

August 16, 1979

Academician M.A. Markov
Academy U.S.S.R.

Dear Professor Markov:

It is now some twenty years since you and your colleagues in the U.S.S.R. pointed out that neutrinos produced in the earth's

atmosphere and from extraterrestrial sources might be detectable. Subsequent events have demonstrated that you were correct regarding atmospheric neutrinos and now as you know scientists are gathering under the banner of project DUMAND to study this interesting feature of the cosmic radiation on an expanded scale. We are discussing the possible use of these neutrinos to investigate the weak interaction at energies beyond those achievable with accelerators and perhaps even more exciting, the detection of neutrinos from astrophysical sources.

The essential features of DUMAND are determined by the "thin rain" of cosmic ray neutrinos exacerbated by the tiny cross-sections-facts which lead us to consider detectors measuring in cubic kilometers. And so we are led to a giant cerenkov detector in the ocean deeps and the development of instrumentation on an unprecedented scale.

Where do we stand now ?

Studies over the post several years lead us to believe that such a large detector can indeed be built. As underscored by the many contributions to DUMAND in a special symposium at the present International Cosmic Ray Conference in Kyoto there is a growing literature on the astrophysics and supra machine physics which may be made accessible by DUMAND. We have identified many areas both theoretical and experimental which require detailed investigation to more precisely determine the anticipated scientific return and costs and hence feasibility of a full scale DUMAND array.

Until very recently, DUMAND, an adhoc international group, has done its work with little explicit funding. This work has been sufficiently encouraging so that we are persuaded it should be expended to encompass a more definitive study of feasibility. To this end I am happy to inform you that we have been successful in obtaining U.S. funds, totalling approximately $ 250,000 for the next year for oceanographic site studies and instrument development.

This includes funding for a DUMAND center in Hawaii where,

International Union of Pure and Applied Physics
SIXTEENTH INTERNATIONAL COSMIC RAY CONFERENCE
Kyoto, Japan, 1979



Secretariat:
Inst. for Cosmic Ray Res., Univ. of Tokyo
3-2-1, Midori-cho, Tanashi, Tokyo
188 JAPAN

Telephone: 0424-61-4131
Telex: 02822371 ICRTU J
Cable: ICRTOKUNIV TANASHI

starting by 1 January 1980 we will have a small full-time staff to provide an essential coherent cone for DUMAND activities. I would like to see U.S.S.R. involvement include participation in that center by visiting Soviet Scientists.

It is now appropriate to marshall the recources of all those interested in DUMAND so that we can accomplish this feasibility study in the next few years at which time we hope we will have made

a persuasive case for a continuing program leading to a full scale DUMAND, and that the resources necessary to its construction will be forthcoming.

We are now well started and it is time to discuss in detail with our scientific colleagues the program and resources required to achieve our goals. We must decide how to organize so as to best avail ourselves of the resources which interested scientists around the world can bring to DUMAND. Much discussion is underway in Kyoto and more will take place soon in the U.S.S.R. hosted meetings at Khabarovsk and Irkutsk.

May I close on a personal note ?

As one who has been associated with DUMAND since its beginning I am optimistic that given patience and effort it will come to function with a bounteous harvest of scientific information and the good that flows from international cooperation. I anticipate that the discussions in the Soviet Union will be helpful in developing the scientific rationale and program for DUMAND and I very much regret that I am unable to attend these sessions.

In particular I will miss the opportunity these meetings would have afforded for me to talk with you in depth about DUMAND. Because of your importance both historical and current in the DUMAND concept I would be pleased to make a special visit to you in Moscow to discuss the status and future of DUMAND with you at first hand. If you consider such a meeting appropriate may I suggest a date some time in October ?

With best personal wishes for progress in DUMAND.

Sincerely yours,

F. Reines

F. Reines

Professor of Physics,
Chairman DUMAND Steering Committee

Тем же летом, непосредственно после Хабаровского Тихоокеанского конгресса нами на берегу Байкала был проведен узкий международный семинар, посвященный более конкретным проблемам ДЮМАНДа. Здесь же зародилась идея организовать на Байкале небольшую группу физиков, которая тренировалась бы в техническом аспекте ДЮМАНДа. Предполагалось в дальнейшем использовать этот опыт в работах совместной американско-советской установки на Гавайях. В следующем (1980) году на конференции в Эриче по инициативе Ф. Рейнеса был составлен документ, который предполагал расширение сотрудничества по созданию установки ДЮМАНД на Гавайях до международного уровня:

Эриче, 26 июня 1980 года

Уважаемый коллега!

Этим письмом мы извещаем Вас об образовании Международной комиссии по ДЮМАНДу. Мы собрались в этот день в Эриче, в Италии, и в этом письме все вместе и каждый в отдельности сообщаем о нашем намерении добиваться образования официальной ор-

ганизации по международному сотрудничеству в области подводных экспериментов по обнаружению мюонов и нейтрино. Мы также предполагаем составить точные планы по участию нескольких государств в следующей фазе развития ДЮМАНДа осенью этого года. Эти планы будут основываться на результатах нынешних исследований, а также представленных на летней международной конференции и семинаре, которые пройдут в июле на Гавайях. Прогресс в этом деле столь стремителен, что мы с надеждой ожидаем создания глубоководных океанских детекторов большого научного значения уже в течение двух последующих лет.

Мы начинаем совместное научное предприятие, которое обещает нам в течение десятилетия уникальные исследования в области взаимодействий высоких энергий и приоткрывает еще одну завесу в познании Вселенной.

Проф. *Ф. Рейнес*, США – председатель
Проф. *О. Алкофер*, ФРГ
Проф. *С. Мияки*, Япония
Проф. *А. Чудаков*, СССР
Проф. *Дж. Лейрнид*, США
Проф. *М. Шапиро*, США

В 1981 г. на Гавайях состоялась очередная конференция по проблемам типа ДЮМАНД, на которой присутствовала и соответствующая группа советских физиков. В это время нас интересовали проблемы верхней границы спектра нейтрино, падающего на поверхность Земли. Возникли некоторые соображения в пользу возможного существования нейтрино с энергией $E_\nu > 10^{20}$ эВ, с верхней границей до $E_\nu^{max} \sim 10^{28}$ эВ.

Нейтрино таких энергий с их вторичными частицами уже поглощаются в планете на глубинах, значительно меньших радиуса Земли, и не могут быть детектированы в ранее рассматриваемых установках ДЮМАНД. На конференции был предложен соответствующий вариант детектирования нейтрино сверхвысоких энергий, когда падающее на Землю нейтрино движется в Земле (горах), в воде по соответствующим хордам планеты, так что возникающий в результате поток заряженных частиц, сопутствующий процессу взаимодействия нейтрино с веществом, продолжается в атмосфере в виде своеобразного ШАЛа, который может быть детектирован, в частности радиометодами.

В августе 1983 г. в "Nature" появилась заметка под названием "Неудавшееся сотрудничество с СССР", в которой возникшая ситуация формулировалась такими словами:

«Проект ДЮМАНД предварительно рассматривался как советско-американское предприятие. В сентябре 1979 г., за три месяца до того, как события в Афганистане поставили совместные исследования такого типа под угрозу срыва, академик Моисей Марков, руководитель проекта с советской стороны, с воодушевлением говорил о "совместной теоретической разработке и практической реализации" идеи глубоководного детектирования нейтрино высоких энергий, выдвинутой советской стороной в конце 50-х годов.

Советская интервенция в Афганистане означала конец всякого формального советского участия в ДЮМАНДе, хотя отдельные американские участники этого проекта признают, что теоретические дискуссии с советскими коллегами

во время международных конференций были для них очень полезными и стимулирующими...»

Я получал письма наших американских коллег, в которых выражалось сожаление о невозможности в создавшейся политической ситуации организовать советско-американское сотрудничество по эксперименту ДЮМАНД в Гонолулу и выражалась надежда на возможное улучшение политической погоды в будущем.

Пробные испытания характерной для ДЮМАНДа аппаратуры (струна, нагруженная несколькими ФЭУ) показали, что Байкал является удобным местом для размещения установки ДЮМАНД, сравнимой по своим размерам с первым вариантом установки, проектируемой на Гавайях. В связи с возникшими затруднениями в организации советско-американского сотрудничества на Гавайях нами было решено создать соответствующую установку на Байкале. В рамках Института ядерных исследований Академии наук была организована специальная лаборатория под руководством Г.В. Домогацкого.

Кроме того, в рамках того же института был создан специальный отдел, задачей которого являлась интенсификация поисковых работ – различных возможностей детектирования нейтрино предельно больших энергий с помощью различных видов излучения (фотонного, акустического, радиоволнового) и адекватных этому детекторных установок (И.М. Железных, М.А. Марков). В результате возник ряд заманчивых предложений, практическая реальность которых требует дальнейших обсуждений и предварительных экспериментов.

Осенью 1989 г. на одном из кораблей Института океанологии Академии наук собралась международная рабочая группа по проблемам типа ДЮМАНД, где снова возникли предложения о некотором участии советской стороны в работах по созданию установки ДЮМАНД на Гавайях, которые в настоящее время обсуждаются.

P.S. За время длительного общения у нас с Ф. Рейнесом установились теплые дружеские отношения. Последняя короткая встреча в мае 1991 г. началась с дружеских объятий. Жаль, что в результате политических событий не реализовалась совместная работа с Ф. Рейнесом, научный опыт которого и его смелые физические эксперименты достойны самых высоких оценок.

ГЛЕБ ВАСИЛЬЕВИЧ ВАТАГИН*

Занимаясь проблемами расходимостей – появлением бесконечных значений в вычислениях точечных масс источников различных полей, я, естественно, изучал пионерскую попытку Г. Ватагина решить эту проблему введением релятивистски-инвариантного формфактора, способного прекратить рост собственной массы частиц при попытках вычислить ее с помощью существующего математического

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 83–95.

аппарата теории полей. Эта проблема занимала многих ученых, в том числе Гейзенберга, Дирака, Паули, Венцеля, Юкаву и др.

Неудача в решении проблемы, в частности в рамках электродинамики, как злой рок преследовала всех авторов. Казалось бы, основная проблема – построить соответствующий релятивистски-инвариантный математический аппарат, который делал бы расходящиеся (бесконечные) выражения конечными, и все. Но на самом деле все эти попытки вели физически к протяженному несжимаемому источнику, сигнал по которому распространяется в противоречии с теорией относительности со скоростью, большей скорости света. Оказалось (см. очерк "С. Томонага", с. 437–438), что ранее (до Томонаги–Швингера) формулировка теории поля не была последовательно релятивистски-инвариантной: все ранее существовавшие рецепты борьбы с расходимостями приводили к тому, что в этих случаях так называемое *многовременное уравнение Томонаги–Швингера не имело решений.* С точки зрения автора, решение проблемы расходимостей связано с решением проблемы квантовой гравитации [1]. Поскольку решению проблемы расходимостей в теории поля посвятили свое время столь блестящие плеяды ученых, то упрекать Ватагина – зачинателя этого направления – в авторстве научно бесперспективного направления исторически было бы несправедливо[1].

Ватагин родился в Киеве, в семье начальника железнодорожной станции, а Киев в первые дни Октябрьской революции оказался "за рубежом". Глеб Ватагин был ровесником одного из братьев М. Булгакова, вместе с которым он учился в Киевской гимназии. Глеб Ватагин получил гражданство в Италии, и в Турине он в последующие годы был директором Физического института. Во время войны Глеб Ватагин эмигрировал в Уругвай, где занимался различными проблемами в области космических лучей. После войны он вернулся в Италию, оставив в Уругвае созданный им Физический институт, который носит его имя. В 40-х годах С.И. Вавилов, будучи Президентом Академии наук СССР, сообщил мне, что Г. Ватагин хлопочет о возвращении в Советский Союз. Имея в виду сложную политическую ситуацию тех лет в нашей стране, я не посоветовал С.И. Вавилову поддерживать просьбу Ватагина.

Впервые с Ватагиным я встретился в 1955 г. на Международной конференции по физике высоких энергий в Пизе (Италия), на которой я присутствовал вместе с академиком С.Н. Верновым. В то время даже присутствие советской делегации на научной конференции сопровождалось "переводчиком" из посольства. Нас сопровождал переводчик, который прекрасно знал Италию, и по акценту, и по виду его принимали за жителя Сицилии. Он сказал нам, что в Италии находится известный ученый-физик русского происхождения – Глеб Ватагин, но вряд ли он осмелится встретиться с советской делегацией. Дело в том, что он уже хлопочет о пенсии, а итальянское правительство в настоящее время достаточно консервативного направления, чтобы не учитывать политические убеждения пенсионеров. Но Г. Ватагин встретил нас буквально с распростертыми объятиями. Он не отходил от нас

[1] Более того, не исключено, что на очень малых расстояниях типа длины Планка $\left(l \sim \sqrt{\hbar\varkappa/c^3} \sim 10^{-33}\text{ см}\right)$ теряют смсл пространственно-временные расстояния вообще.

ни на минуту. Во всех его вопросах о Советском Союзе, в рассказах о Киевской гимназии, детских и подростковых годах в России чувствовалась глубокая тоска по Родине. Во время войны, будучи в Уругвае, он принимал активное участие в организации различной помощи Советскому Союзу в рамках усилий групп эмигрантов из нашей страны самых различных политических убеждений.

В одной из своих бесед Г. Ватагин рассказал о своей встрече в Париже с братом М. Булгакова.

Как-то, находясь в одном парижском ресторане, он увидел официанта, который посмотрел на Ватагина и быстро вышел из зала. После этого один из других официантов подошел к Ватагину и сказал ему, что в ресторане работает официантом один русский. Он почему-то очень взволнован появлением Ватагина и в подавленном состоянии находится в смежной комнате. Г. Ватагин зашел в эту комнату и увидел друга своего детства – брата М. Булгакова, который при виде Глеба расплакался.

С большой болью он рассказывал также о жизни многих известных эмигрантов из Советского Союза, в частности о профессоре Гамове, который в конце концов спился.

Запомнился один эпизод: в одну из наших поездок с Ватагиным в окрестности Пизы мы расположились на открытом воздухе у прибрежного ресторана отведать вкусного итальянского мороженого. Наш переводчик, озираясь по сторонам, вдруг сказал:"Глеб Васильевич, нагните голову сильнее – Вас сейчас будут снимать". "Пусть снимают", – сказал, махнув рукой, Глеб. И действительно, мы увидели человека с фотоаппаратом, с которым, казалось, уже неоднократно встречались.

В Советский Союз впервые Г. Ватагин приезжал в 1965 г. в Киев на конференцию по физике элементарных частиц. Она, в частности, проходила и в здании гимназии, в которой когда-то учился Ватагин. Здесь Ватагин был нашим гидом.

Впоследствии Ватагин неоднократно посещал Советской Союз, и в каждую поездку в Италию я считал своим долгом посетить Турин, чтобы встретиться с Ватагиным, большим русским патриотом за границей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1947. Т. 7. С. 161.

ОБ ОДНОМ ПИСЬМЕ Н. БОРА*

Письмо Нильса Бора, которое я получил более 50 лет назад и о котором я хочу рассказать, имеет интерес в связи с ситуацией в физике того времени, которым это письмо датировано – 2 июня 1935 г. Оно представляет интерес и потому, что в майском номере журнала "Physical Review" за тот же год (Т. 47) появилась знаменитая статья А. Эйнштейна, Н. Розена, Б. Подольского "Можно ли считать кван-

* Размышляя о физиках... о физике... о мире. М.: Наука, 1993. С. 85–91.

тово-механическое описание физической реальности полным?" В статье излагается пример мысленного эксперимента, иллюстрирующий вопрос авторов. Статья появилась в то время, когда было модным рассматривать мысленные эксперименты, которые могли бы иметь общее заглавие со статьей А. Эйнштейна, Н. Розена, Б. Подольского. Поток этих мысленных экспериментов, "опровергающих" квантовую механику, напоминал в известном смысле и до сих пор возникающие проекты вечных двигателей, и найти ошибки в этих предположениях не всегда просто. Критика же концепции квантовой теории (так называемой копенгагенской интерпретации) иногда исходила от таких крупнейших физиков, как Шредингер и в особенности Эйнштейн. Мысленные эксперименты, критиковавшие копенгагенскую интерпретацию квантовой теории, подчас были очень остроумными, и указать на их несостоятельность было не всегда просто даже Нильсу Бору.

Итак, в майском номере "Physical Review" появилась статья Эйнштейна с соавторами с изложением очередного мысленного эксперимента, будто бы показывающего неполноту описания физической реальности в рамках квантовой механики. Статья вызвала смятение в научной общественности: казалось бы, логика статьи была безупречной. С нетерпением ожидался ответ Бора.

В письме Бора, о котором идет речь, сказано, что он высылает мне свой еще не опубликованный ответ А. Эйнштейну, Н. Розену, Б. Подольскому. К письму был приложен машинописный текст ответной статьи. Ответ Бора Эйнштейну был опубликован в 58-м томе "Physical Review", который появился лишь 15 октября 1935 г., в редакцию журнала статья была послана 13 июня 1935 г.

Таким образом, я имел возможность докладывать ответ Бора на семинаре Л.И. Мандельштама в МГУ до того, как Бор послал свою работу в "Physical Review".

Что касается моего письма Бору, то оно содержало вопрос, который в то время имел также концептуальное значение. Дело в том, что, согласно квантовой механике, измерение координаты частицы нарушает знание ее скорости (импульса). Поэтому в квантовой теории нельзя одновременно получить точные экспериментальные данные о положении частицы и ее скорости в один и тот же момент. Это означает, что, согласно квантовой механике (в отличие от механики классической), не представляется возможным предсказать по начальным данным будущее положение частицы. Мой вопрос к Бору был связан с одним смутившим меня утверждением Гейзенберга: "Заметим, однако, сейчас же, что соотношение неопределенностей, очевидно, не относится к прошлому, так как если сначала известна скорость электрона, а затем будет точно измерено положение, то возможно и для времени *перед* измерением положения точно вычислить положение электрона" [1].

С другой стороны, Эйнштейн с Р. Толменом и Подольским, воспользовавшись подобным утверждением, показали в другом мысленном эксперименте, что знания прошлого частицы достаточно для определения будущего другой частицы [3]. "В настоящей заметке мы обсудим, – писали авторы, – простой мысленный эксперимент, который покажет, что возможность описания траектории одной частицы в прошлом должна привести к таким предсказаниям относительно будущего поведения второй частицы, которые не допускает квантовая механика" [3].

Я послал Бору проект заметки, в котором утверждалось, что имеется симметрия прошлого и будущего в квантовой механике, и прошлое, вопреки утверждению Гейзенберга, не выделено. Бор, как следует из письма, согласился с моими утверждениями.

Описываемая ситуация парадоксальна тем, что сам автор соотношения неопределенностей (В. Гейзенберг), лежащего в основе квантовой теории, в то время не до конца понимал его содержание, грубо ошибался в его физической интерпретации.

Ниже приводятся текст моей заметки, которая позже была опубликована в ЖЭТФ [2], и письмо Нильса Бора.

ЗНАНИЕ "ПРОШЛОГО" И "БУДУЩЕГО" В КВАНТОВОЙ МЕХАНИКЕ

В противовес мнению ряда теоретиков, утверждающих возможность познания "прошлого" в квантовой механике, здесь показывается,что в привилегированном положении находится только область между двумя экспериментами.

Иногда говорят, что квантовая теория, запрещая знание "будущего" элементарной частицы в смысле механики Ньютона, в то же время допускает как будто бы какую-то возможность трактовать в классическом смысле ее прошлое [4], например, измеряя сначала импульс свободного электрона, а затем к некоторому моменту координату того же электрона, мы к моменту t_2 и для всех $t < t_2$ можем знать одновременно импульс и координату как угодно точно, т.е. для прошлого как будто может быть $\Delta p \Delta q < \hbar$.

Гейзенберг, дискутируя приведенный пример, замечает, что это значение прошлого имеет чисто умозрительный характер и что стоит ли названному вычислению прошлого частицы приписывать какую-либо физическую реальность, является поэтому только делом вкуса.

Насколько нам известно, это единственный случай в квантовой механике, когда, хотя бы умозрительно, допускается подобная классическая возможность. Поэтому ближайшее рассмотрение этой возможности не лишено некоторого интереса.

Ближайшее рассмотрение этой проблемы сильно ограничивает эту возможность и, в сущности, ее ликвидирует. Действительно, дискутируя мысленный эксперимент, который указывает на интересующую нас несимметрию принципа неопределенности в отношении прошлого и будущего, необходимо принимать во внимание соотношение Бора $(v_2 - v_1)\Delta p \Delta t \geqslant \hbar$ для точности измерения импульса.

Это соотношение утверждает: если процесс измерения импульса частицы длится отрезок времени Δt, если при этом меняется ее скорость на величину $v_2 - v_1$, то ошибка в импульсе

$$\Delta p \geqslant \hbar / \Delta t (v_2 - v_1). \quad (1)$$

Пусть в момент t_1 начинается измерение импульса свободно движущейся частицы, пусть это измерение длится время Δt и пусть в момент $t_2 = t_1 + \Delta t$ мгновенно

и совершенно точно измеряется положение этой же частицы. В момент t_2 мы имеем точное знание положения частицы и знание ее импульса с ошибкой Δp. Эта ошибка может быть как угодно мала.

Двигаясь в прошлое по оси времени, мы получаем для ошибки в координате к моменту t_1, т.е. к моменту начала эксперимента по наблюдению импульса, по меньшей мере значение

$$\Delta q = (v_2 - v_1)\Delta t, \quad (2)$$

так как неизвестно, в какой момент внутри Δt изменилась скорость частицы на величину $(v_2 - v_1)$.

Подставляя (2) в (1), получаем

$$\Delta p \Delta q \geqslant \hbar, \quad (3)$$

таким образом, соотношение неопределенности $\Delta p \Delta q \geqslant \hbar$ справедливо для всех моментов будущего

$$t > t_2 \quad (4)$$

и всех моментов прошлого

$$t < t_1. \quad (5)$$

Только область t_2–t_1, которую скорее можно назвать настоящим, оказывается в некотором привилегированном положении.

Принципиально важно, что эта область всегда лежит между двумя экспериментами: в предыдущем случае между экспериментом, определяющим импульс, и экспериментом, определяющим координату.

То же самое мы получаем при другом экспериментальном подходе к той же проблеме, а именно: в моменты t_1 и t_2 определяется положение свободно движущейся частицы и вычисляется скорость по формуле $v = (q_2 - q_1)/(t_2 - t_1)$. Здесь $\Delta p \Delta q < \hbar$, также для всех t, удовлетворяющих условию $t_1 < t < t_2$, может быть $\Delta p \Delta q < \hbar$.

Благодаря соотношению (1), в результате того, что область $t_2 - t_1$ лежит между двумя экспериментами, оказывается невозможным предсказать будущее в духе мысленного эксперимента Эйнштейна, Толмена, Подольского на основании знания этого ограниченного прошлого.

Опыт, предложенный указанными авторами, заключается в следующем: автоматически мгновенно открываются и закрываются два окошка некоторого ящика, внутри которого находятся одинаковые частицы в тепловом движении. Разбираются случаи, когда из каждого окошка вылетает по частице. Одна частица летит к эллиптическому зеркалу, а затем, наверняка, в фокус этого зеркала.

Вторая же частица летит прямо в тот же фокус. Так как первый путь легко сделать как угодно длинным, то вторую частицу можно надеяться наблюдать в фокусе значительно раньше первой. Измеряется импульс этой частицы, время прихода в фокус, вычисляется время, когда были открыты окошки.

Зная предварительно энергию ящика до опыта и определяя ее вторично (взвешиванием) после вылета двух частиц, как будто бы можно получить все данные относительно первой частицы, предсказывать время прихода, например, ее в фокус.

Формализм квантовой теории предсказывает безуспешность подобного эксперимента. Действительно, этот эксперимент требует знания прошлого к моменту $t \leqslant t_1$, знания прошлого к моменту, когда было открыто окошко, что случилось заведомо раньше начала определения импульса и координаты частицы, а для $t < t_1$ уже справедливо соотношение $\Delta p \Delta q \geqslant \hbar$.

Бор рассмотрел этот мысленный эксперимент, предложенный Эйнштейном, Толменом, Подольским, и показал, что в данном случае, в согласии с квантово-механическим формализмом, ошибки, входящие в (3), также неконтролируемы для прошлого, как и для будущего (в этом повинен релятивистский эффект для времени). Выше мы видели, исходя из общих соображений, что любой опыт в этом же духе благодаря (4) и (5) невозможен.

Повторяю, что существенно, что область $t_2 - t_1$ лежит между двумя экспериментами. Действительно, вмешательство первого эксперимента нарушает знание более раннего прошлого, вмешательство второго эксперимента запрещает знание будущего.

Надо думать, что область $t_2 - t_1$ не имеет также привилегированного физического смысла в квантовой механике. Другими словами, нельзя воспользоваться особенностью этой области, чтобы получить более подробные сведения не только для предсказания будущего, но и для более точного измерения или вычисления из результатов измерений важных физических величин: величин электромагнитного поля, спина свободного электрона и т.д.

Например, о спине свободного электрона.

Спин свободного электрона не может быть наблюдаем потому, что благодаря соотношению $\Delta q \Delta v \geqslant \hbar / m$ ошибка в $H = l / c \frac{v_r}{r^3}$ становится порядка μ / r^3. Кажется с первого взгляда, что, если поставить эксперимент в области $t_2 - t_1$, если сначала измерить импульс, затем поле, а потом положение электрона, можно обойти эту трудность. Но дело в том, как мне любезно указал Бор, что измерение поля требует некоторого промежутка времени и сопровождается обратным действием на электрон, изменяющим неконтролируемым образом его импульс.

Это обратное действие тем больше, чем меньше этот промежуток времени.

По мнению Бора, для ненаблюдаемости спина имеют значение рассматриваемые Бором и Розенфельдом флуктуации электромагнитного поля.

Таким образом, особенность этой области здесь оказывается лишь в том, что приходится обращаться в этой области к несколько другим аргументам, чем в обычной, но результат в конце концов прежний.

Собственно говоря, подобный результат можно предвидеть, так как несимметрия в отношении прошлого и будущего квантовой механики, о которой идет речь, не является следствием квантово-механического формализма, а представляет собой результат дискуссии мысленных экспериментов, которые всегда носят ориентировочный и, в сущности, иллюстративный характер.

Надо думать, что даже чисто умозрительно, в смысле Гейзенберга, для p и q и в области $t_2 - t_1$ недоступно описание процесса в духе ньютоновской механики: ведь в правило коммутации $pq - qp = i\hbar$ совсем не входит время, и, наконец, нельзя сформулировать в рамках уравнения Шредингера то обстоятельство, что к моменту t_2 можно задать для свободного движения как угодно точно p_{t_2} и q_{t_2}.

В заключение я должен выразить глубокую благодарность Н. Бору за ряд ценных указаний.

ПИСЬМО НИЛЬСА БОРА

Университетский институт
теоретической физики

Копенгаген,
Блегдамсвей, 15
2 июня 1935 г.

Дорогой г-н Марков!

Благодарю Вас за Ваше любезное и интересное письмо. Что касается первого вопроса о различии между прошлым и будущим в квантовой механике, то я согласен со всеми Вашими выводами. Что касается второго вопроса, то я все же не согласен, что временной интервал, называемый Вами "привилегированным", дает какие-либо возможности получить точные сведения, если не для будущего, то для важных для описания величин, таких, как поля и спин электрона.

Ваш вывод об измеримости спина содержит одно упущение: там, где Вы принимаете, что измерение поля может осуществляться мгновенно. Как, в частности, подробно показано в работе Дарвина в "Proc. Roy. Phys.", измерение поля всегда сопровождается обратным воздействием на электрон (по крайней мере, пока скорость распространения поля считается конечной), которое тем больше, чем меньше время измерения, и, вообще говоря, неконтролируемым образом нарушает определение импульсов в той мере, которой этого требует соотношение неопределенностей.

Еще одним обстоятельством, делающим невозможным измерение спина, являются рассмотренные Розенфельдом и мной флуктуации электромагнитного поля, которые во всех мыслимых случаях, даже если пренебречь реакцией на электрон, будут препятствовать однозначной интерпретации измерений поля. Последнего вопроса мы подробнее коснемся в статье, посвященной измерению моментов, в том числе фотонного, и электронов спинов, над которой мы долго работали и оттиск которой я надеюсь Вам вскоре прислать.

Прилагаю копию статьи, которая вскоре появится в "Phys. Rev.", представляющей собой ответ на последнюю работу Эйнштейна, Подольского и Розена.

С дружеским приветом, также и ко всем общим друзьям в Москве.

Н. Бор

UNIVERSITETETS INSTITUT
FOR
TEORETISK FYSIK

BLEGDAMSVEJ 15, KØBENHAVN Ø.

DEN 2/6 193 5

Lieber Herr Markow,

Ich danke Ihnen für Ihren freundlichen und interessanten Brief. Was die erste Frage der Unterscheidung zwichen Vergangenheit mit Zukunft in dor Quantecmeckanick betrifft, bin ich mit allen Ihren Ausführungen einverstanden. Was die zweite Frage betrifft, bin ich aber damit nicht einverstanden, dass das Zeitintervall, das Sie als "privilegiert" bezeichnen, irgendwolche Möglichkeiten darbietet, eingehendere Kenntnisse, wenn auch nicht von der Zukunft, so von anderen für die Beschreibung wichtigen Grössen, wie die Felder und der Elektronspin, zu erhalten.

Ihr Ausführung über die Messbarkeit des Spins enthält eine Lücke darin, dass Sie annehmen, dass die Feldmessung keine Zeit erfordert. Wie es in einer Arbeit von Darwin in den Proc. Roy. Soc. im Einzehnen ausgeführt ist, ist die Messung des Felds immer mit einer Rückwirkung auf das Elektron begleitet (jedenfalls solange man von der endlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Felder absieht) die umso grössor ist, je kürzer sie dauert, und ganz allgemein, die Kenntnis des Impulses des Elektrons in unkontrollierbarer Weise stört in dem Umfang, den die Unsicherheitsrelation verlangt.

Ein weiterer Umstand, der die Messung des Spins unmöglich macht, ist die von Rosenfeld und mir be rachteten Schwankungen der elektromagnetischen Felder, die in alle Fällen, wo man glauben könnte, von der Rückwirkung auf das Elektron absehen zu können, die eindeutige Interpretation der Feldmessung verhindern würde. Auf die letzte Frage werden wir näher eingehen in einer Abhandlung über die Messung vom Drehimpuls, einschliesslich Photon- und Elektronspin, auf die wir längere Zeit gearbeitet haben und von der ich hoffe, Ihnen bald ein Seperat schicken zu können..

Einliegend schicke ich eine Kopie einer Abhandlung, die bald in Phys. Rev. erscheinen wird, und die eine Antwort auf den letsten Artikel von Einstein, Podolsky und Rosen darstelt. Mit vielen freundlich Grussen, auch an alle gemeinsamen Freunde in Moskau

Ihr ergebener

Niels Bohr

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гейзенберг В.* Физические принципы квантовой теории. М.; Л.: Гостехтеоретиздат, 1930. С. 21.

2. *Марков М.А.* Знание "прошлого" и "будущего" в квантовой механике. // ЖЭТФ. 1936. Т. 6.

3. *Einstein A., Tolman R., Podolsky B.* Knowledge of past and future in quantum mechanics // Phys. Rev. 1931. Vol. 37. P. 780.

4. *Einstein A., Tolman R., Podolsky B.* // Phys. Rev. 1931. Vol. 37.

V

ИЗ ДАЛЕКОГО ПРОШЛОГО
(автобиографические заметки)

Последние автобиографические записки-воспоминания датированы концом двадцатых годов. Записи последующих воспоминаний были мной уничтожены...

В последующие годы возникло все возрастающее противоречие между идеями создания светлого будущего, которые поддерживала не только КПСС, но и большинство нас, беспартийных, и фактическим состоянием нашего общества с возрастающим чудовищным нарушением элементарных прав человека и справедливой законности. Казалось, что руководящее звено общества просто ложно информировано о творящемся ужасном беззаконии. Но эта интерпретация случившегося оказалась тяжелым самообманом.

Правда, недавно по совету некоторых моих друзей я опубликовал сохранившиеся у меня не очень зрелые юношеские размышления о "смысле жизни" – небольшую книгу под названием "Ошибка физиолога Ню". В частности, о смысле жизни в экстремальных условиях, когда все жизненные функции человека взяли на себя соответствующие приборы, и живым остался лишь мозг существа.

ПРОРОК
(1914)

Казалось, по широкой улице медленно двигается одна большая борода. Она начиналась где-то высоко у полузакрытых глаз, и постепенно сужаясь, заканчивалась острым клином у самого пояса. Ярко вырисованный рот на фоне бороды все время находился в работе, и только вблизи можно было разобрать какие-то слова и отдельные фразы.

Встречные обходили старика: одни с почтением, другие – раздраженно или с насмешливым добродушием. Только древние старухи, возвращаясь из церкви, плевали ему вслед и громко шипели: "Ирод... Богоотступник..."

Мальчишки звали его "дядя Федор–бормота". Иногда они стайкой бежали за ним, выкрикивая: "Дядя Федор–бормота! Зачем сноху в чайнике утопил, тещу рогачом[1] удавил?!"

Я, шестилетний, в своем воображении ясно рисовал себе картину, как дядя Федор заталкивает свою сноху в чайник, в тот маленький чайник, который всегда стоял на углу его портняжного стола. Дядя Федор, сидя на столе по-портновски, время от времени тянул крепкую заварку прямо из носика чайника. Что

[1] Рогач – ухват.

касается рогача, то он всегда стоял в углу около печки, и возможность использования рогача против тещи не вызывала никаких мысленных картин в моем воображении.

Дядя Федор не обращал внимания на крики ребятишек даже тогда, когда в него летели комья засохшей грязи, а иногда и камни. Он только прямее держался и казался более высоким и степенным.

Бывало, заражаясь стадным чувством толпы, и я вместе со всеми принимал посильное участие в этих уличных событиях. Однажды я оказался совсем рядом с ним, уставившись на его необычайную бороду. Он взял меня за руку и привел в свою избу. С тех пор я стал его частым гостем, особенно зимой.

Жил дядя Федор бобылем в глубоко вросшем в землю маленьком домике с подслеповатыми окнами. В избе дяди Федора была огромная, жарко натопленная русская печь. В морозный день было так приятно забраться на полати, под самый потолок и лежать на теплой мягкой овчине. Визит обычно сопровождался богатым угощением – терпкими маринованными ягодами, кажется терном. Дядя Федор искусно доставал их каким-то приспособлением из очень большой и высокой бутылки.

На столе, кроме портняжной ветоши и непременного чайника, всегда лежала какая-либо потрепанная, часто рукописная книга. Книгу он читал вслух. Хотя произносимые им фразы были мне непонятны, я был вежливым и внимательным слушателем: свесив голову с печи и болтая ногами, я не мешал его оживленной жестикуляции и всегда ироническим комментариям. Мне только было понятно, что дядя Федор терпеть не мог Христа.

– Что Бог как лицедей на ярмонке ломается, – говорил он, подняв голову к потолку, как бы заглядывая в небеса. – То переодевается в голубка, то в человека-Христа. Ну, скажи, – обращался он ко мне, – зачем вся эта комедь Всемогущему? А?

Иногда он указывал на книгу, говоря:

– Здесь жития святых... – и неодобрительно качал головой. – Обрекали себя на голод, умерщвляя плоть... истязались до крови веригами... Зачем все это Всемогущему нужно? Разве может Всемогущий Бог быть таким мучителем и таким кровожадным?

Задав вопрос, он ждал некоторое время ответа, но удовлетворившись покачиванием моей головы, продолжал свои длинные и страстные комментарии.

Как-то в зимний вьюжный день, катаясь с ледяной горки, я видел, как мой отец и трое соседей несли на полотенцах гроб.

"Пророка потащили", – услышал я чей-то голос.

Никто не шел за гробом "пророка".

P.S. Дядя Федор был идеологом той религиозной секты, к которой принадлежали мои родители. Еретические высказывания и "пророчества" дяди Федора очень беспокоили тогдашнее уездное начальство.

ГОЖИЕ
(1916)

Заканчивается второй год войны, идет 1916-й... Всюду большие плакаты, прославляющие подвиг казака Козьмы Пруткова. Он одним лихим ударом нанизывает на пику чуть ли не дюжину немцев.

По широкой сельской улице несется пьяная надрывная песня: "По-о-оследний нонешний де-не-ечек гу-ляю с вами я, друзья..."

Это идут "гожие" – признанные годными к военной службе по последнему призыву. "Гожим" остается гулять три дня.

Рыдает гармонь хромого Кузьмы, и десяток "гожих" сопровождает ее охрипшими голосами. Перед гармонистом, выделывая замысловатые коленца, крутится Сенька Устинов. Потрепанный "пинжак" висит на одном плече. Из разбитого носа сочится кровь, заливая белую рубашку. Растрепанные мокрые волосы закрывают глаза, и он то и дело поправляет волосы, размазывая кровь и грязь по лицу.

На углу переулка собираются зеваки. Иван Носов, здоровый мужик с покалеченной левой рукой, щелкая семечки, с восхищением смотрит на приближающуюся ватагу "гожих", и семечки с непостижимой быстротой, кажется, сами влетают ему в рот и отлетают шелухой. Вновь прибывающие зрители, кивая в сторону "гожих", бросают одно и то же:

– Гуляють...

За всех отвечает Иван:

– Гуляють... гожие...

– Гожие?

– Гожие.

– А завтра, рано чуть свето-о-чек заплачет вся моя семья.

– Гожие?

– Гожие...

– Еще заплачет д-д-до-р-рогая, с которой я три года жил, – надрывно фальцетом выводит Сенька.

Кто-то громко критикует:

– Три года жил... Сенька-то и неженатый. Анчутка[1], как пить дать, Анчутка.

– Все одно, жалостливо, – вытирает солдатка фартуком глаза.

– ...Заплачут мать моя и дети...

– Все одно, жалостливо, – рыдает Акулина.

– А Сеньку изукрасил Герасим Жидков, – разъясняет всезнающий голос.

– За что?

– Так, по пьяному делу.

– А где Герасим?

– Убёг, боится Сеньку. Сенька божился порешить Герасима, кишки выпустить...

– А какой с него спрос?

---

[1] Анчутка – домовой, страшилище.

– Гожие…
– Гожие…
– Одним словом, гожие.

"Гожих" сопровождает стайка босоногих мальчишек. Они то забегают вперед, то сбоку сбиваются в кучу, с большим любопытством наблюдая все представление.

– А гармонист хромой, – ехидно замечает кто-то из толпы.

– Гармонист завсегда должён быть хромой, – поясняет Иван, – хромой не работник, хромому одна дорога – гармонь, да!

Жалостное пение вдруг прерывается озорной частушкой: "Положил ее на грядку, два с полтиной дал задатку…"

– Охальники, чистые охальники, – слышится в толпе, и всем отвечает Иван:
– Гожие, одним словом, гожие.

"ЗА ЧТО КАИН УБИЛ АВЕЛЯ?" (1916)

– Житнев Сережа! Расскажи, за что Каин убил Авеля?

Батюшка, отец Сергий, ведет урок закона Божьего. Большая светлая комната церковно-приходского училища заставлена с трех сторон партами трех классов: с ними батюшка ведет занятия одновременно. Один класс решает задачи по арифметике, другой упражняется в чистописании, а в третьем сейчас речь идет о Ветхом Завете. Иллюстрации к различным библейским событиям, размерами в лист ученической тетради, аккуратным рядом украшают две стены комнаты. Ко многим рамкам трудно подойти: забаррикадированы партами. А вот сцена преступления Каина оказалась в доступном пространстве. На нее отец Сергий не только мог указать, но даже дотронуться пальцем.

Задав вопрос, батюшка сжимает в кулак свою длинную жидковатую бороду и склонил голову набок в ожидании ответа.

– Не знаю, батюшка, – робко шепчет Сережа.

– А ты подумай, подумай! – уговаривает батюшка.

– Вот вчера наш сосед дядя Федор пырнул ножом дядю Николая, – как бы размышляет вслух Сережа, переминаясь с ноги на ногу и низко опустив голову.

Новость явно заинтересовала батюшку. Он отпускает бороду и, приглаживая рукой редкие волосы на макушке, подходит ближе к парте Сережи.

– Ножом, говоришь? – переспрашивает батюшка.

– Ножом, батюшка, сапожным – острым, страсть! – уже громко поясняет Сережа. – Сапожным… Ка-ак дасть!..

– Куда ж он его? – допытывается батюшка.

– Ка-будь подвздох.

– Куда?

– Подвздох, вот в это самое место.

– За что же он его? – недоумевает батюшка.

– По пьяному делу, – видимо, кому-то подражая, солидно, почти басом поясняет Сергей. – Сперва ничего, пили самогон. Ладно... Потом пришла тетя Маша, жена Николая, и ну ругаться: "Пьяницы, – говорит, – обормоты". А тетя Мотя, Федорова жена, обиделась и стала тоже ругаться. Вот... Назвала ее затервой, вот...

– Стервой, – подсказывают с задних рядов.

– Затервой, – упрямо повторяет Сережа. – А потом бабы вцепились друг другу в волосы, вот... Дядя Федор и дядя Николай ну их разнимать!.. Вот... А потом тоже подрались... вот... Тут дядя Федор как схватит сапожный нож, ка-ак дасть ножом...

В наступившей длинной паузе батюшка, видимо, размышляет по поводу этого события. Он задумчиво неодобрительно качает головой и возвращается к уроку.

– Но за что же Каин убил Авеля? – механически повторяет заданный вопрос батюшка. Он, видимо, даже и не ждет ответа.

– Может, тоже по пьяному делу? – по-взрослому неожиданно заключает Сергей.

Звонок сторожа-инвалида древнего деда Захара прерывает урок. Батюшка откуда-то из заднего кармана поспешно достает огромные часы, предмет любопытства учеников всех трех классов, громко щелкает крышкой и, что-то вспомнив, видимо, неотложное, быстро направляется к выходу. И только успевает погрозить пальцем в ответ на предположение Сережи.

P.S. Я начал свое учение в церковно-приходской школе.

ГРАЖДАНЕ СВОБОДНОЙ РОССИИ
(1917)

– Я приветствую вас, граждан свободной России, – так начал свою речь наш учитель закона Божьего отец Алексей. Мы, ученики земского училища, только поняли, что царя теперь не стало. Это почему-то очень радует отца Алексея, и он уверен, что все это радует и нас, собранных по этому поводу в тесной передней училища.

Все наши преподаватели, с красными бантиками на груди, радостно оживлены, но не очень внимательно слушают речь отца Алексея. Учитель математики, переминаясь с ноги на ногу, кажется нетерпеливо ждет окончания церемонии. А смотрит он только на большой красный бант отца Алексея, длинный конец которого колышется вместе с его огромным животом. Может быть, многое мне просто казалось, так как я очень недолюбливал отца Алексея, и у меня были для этого свои основания.

Перед началом урока закона Божьего полагалось читать молитву. Отец Алексей часто заставлял читать молитву меня, зная, что мои родители сектанты и у них с этой молитвой свои счеты. Месяц назад я принес отцу Алексею в конверте рубль, после чего мои молитвы прекратились...

Только придя домой, я стал понимать, что произошло действительно что-то важное и, по-видимому, хорошее: отец охрипшим голосом громко напевал то, что

раньше я слышал от него иногда шепотом:

Ах, полным-полна моя коробушка,
Перед Думою тюрьма.
Пожалей, душа-зазнобушка,
Молодецкого плеча.
Витя[1] бережно торгуется,
Все боится передать.
Дурновой[2] кричить, беснуется,
Всех в Сибирь хочить сослать...

Охрип отец потому, что целый день был на митингах и все время, по его словам, кричал "ура".

– Моей ссоре с Николашкой теперь конец, – возбужденно повторял отец. – Отольются коту мышкины слезки.

Я не помнил, чтобы отец когда-либо разговаривал с царем, тем более с ним ссорился. Но все же как-то спросил мать о ссоре отца с царем. Мать испуганно оглянулась, поправила платок и сказала тихо: "Слушай этого балабола больше. Язык, он без костей. И ты молчи, – добавила шепотом. – Молчи..." Снова почему-то испуганно оглянулась и поправила платок.

P.S. Я в это время учился в земской школе. Тогда церковь и земство играли большую роль в распространении грамотности в России.

NONSENS

Шел восемнадцатый год.

При фабричном клубе нашего села организовали детский музыкальный кружок. Уроки по классу пианино вела жена бывшего земского начальника. Румяное, правда, в морщинах, лицо, пышные рыжие волосы с завитушками давали смутное представление о ее возрасте.

Ни у кого из участников кружка не было домашнего инструмента, и все упражнения разыгрывались на старом разбитом клубном рояле. Иногда преподавательница приглашала ребят к себе на дом – у нее сохранилось пианино. Жила она в уютной квартирке, ранее принадлежавшей управляющему фабрикой, кажется, немцу.

В комнату, где стояло пианино, был ход через кухню. В кухне нас обычно встречал (не очень любезно) ее муж, бывший земский начальник. Он часто стоял за плитой в фартуке, в дворянской фуражке, сдвинутой на застылок. В руках, одетых в длинные кожаные перчатки-рукавицы, он держал вилку. Тыча вилкой в кастрюле, он обычно с брезгливой миной говорил про себя что-то непонятное, как я догадывался, по-французски. Его большая седая, по-генеральски раздвоенная борода шевелилась в потоках теплого воздуха, подымавшегося над плитой.

Непривычная обстановка смущала. Ошибки в упражнениях становились более частыми. Фальшивые ноты резали слух. В этих случаях из кухни чаще всего доносилось одно и то же запомнившееся мне слово: "Нонсенс...":

---

[1] Витя – Витте – министр царского правительства.

[2] Дурновой – Дурново – министр внутренних дел.

– Нонсенс… Нонсенс… – ворчливо неслось из кухни. Иногда он добавлял по-русски: – Разве можно пролетарских детей обучить музыке?

Музыке я действительно не обучился… Дело в том, что мои занятия музыкой неожиданно прекратились. Как-то, случайно зайдя в квартиру учительницы, я увидел вместо знакомой, румяной, всегда улыбающейся Лизаветы Ивановны старую, лысую, как мне показалось, ведьму с крючковатым носом, с серо-желтым лицом, обтянутым пергаментной кожей. Не имея представления о париках и гриме, я в страхе убежал. Так кончились мои недолгие занятия музыкой.

Правда, в последующие годы я узнал смысл слова "нонсенс".

ДЕНЬ СЕЛЬСКОГО КОМИССАРА

Беспокойный девятнадцатый год.

В углу тесной жилой избы, рядом с кроватью, накрытой лоскутным одеялом, стоит огромный кованый сундук с делами прежнего сельского старосты. Перед сундуком маленький колченогий стол – это резиденция моего отца, сельского комиссара, который скоро станет первым председателем сельсовета в этом селе.

Дел уйма. Отец почти всегда отсутствует, и я, одиннадцатилетний вихрастый мальчишка, сидя на сундуке и болтая от нетерпения ногами, принимаю и выслушиваю посетителей.

– Лександрыч, – просительно говорит очередной посетитель, на этот раз сосед, держа в руках какой-то сверток, – Лександрыч, пропиши бумагу… не мне, – поясняет он, – а жене, Матрене… голодуют ребятишки. Надо пойти в Александровку… сменять барахлишко… – указывает он на свой сверток. – Зипун тещин тут, мои брючишки…

Год голодный. Село полурабочее, своего хлеба с малых наделов общинного землепользования не хватает.

– Опиши, Лександрыч… что детишки голодуют, что Матрена, жена моя, что я пролетарий, ткач, работаю на фабрике и не какая там спекуляция…

Я открывают кованый сундук, полный каких-то старых книг и пожелтевших от времени бумаг. Бумаги касаются разных событий далекого прошлого. Большинство из них написаны гусиным пером, густо усеяны мелкими коричневыми чернильными брызгами: видимо, крупный неровный рубчик плотной бумаги мешал плавному скольжению гусиного пера.

Почти у каждой бумаги вторая страница чистая. Удивляясь такой расточительности, я отрываю эту чистую половину и пишу уже ставший привычным текст:

"Дано сие гражданке Матрене… которая идет в село… менять на хлеб мужские брюки и зипун по причине голода. В семье Матрены двое малых ребят. Удостоверяется, что брюки и зипун действительно принадлежат семье Матрены…

В чем и подписуюсь,
Сельский комиссар… такой-то"
и подпись отца.

Особо лихо я выводил "в чем и подписуюсь".

– В чем и подписуюсь, – читает сосед и удивленно качает головой. – Хорошо у тебя получается, ладно. Твой отец Радивоныч беспартийный, хотя и башковитый, но не то… Грамоте не шибко обучался. Что ж, ученье – свет, – вздыхает он.

Я понимаю, почему он вздыхает: сын его, Серега, больше увлекается ловлей щеглов и редко ходит в школу. Видимо, здесь не помогают и крупные разговоры и шлепки, а они и крики часто слышатся из соседнего двора.

Сосед уходит. Я еще некоторое время смотрю на древний необычайно витиеватый почерк оторванной страницы, пока не появляются за такой же бумагой следующие посетители. Добывать хлеб и продукты в окрестных селах становится все труднее и опаснее. Антисоветская эсеровская агитация пока имеет успех: мятеж разрастается…

За хлебом ходят чаще женщины, редко мужчины. Мужику из нашего рабочего села идти в отдаленные хлебные деревни – это все равно что идти на передовые позиции фронта. Имеется большой риск и не вернуться…

По весне из соседних лесов на телегах, покрытых соломой, иногда возвращали тех, которые уходили зимой…

КОМИССАР

Иногда, когда я рассматриваю иконописные изображения бойцов красноармейцев на красочных миниатюрах полешан, в моем сознании возникает образ того комиссара, который вместе с санитаром Мустафой был "на постое" в нашей избе в далекие 20-е годы, в разгар эсеровского движения "антоновщины" в бывшей Тамбовской губернии.

Время стерло из памяти имя комиссара. Я помню только, что он был очень высок и худ. Помню, как мать тревожно прислушивалась к его затяжному кашлю: два ее брата угасли от чахотки, как тогда называлось это страшное бедствие. То ли время трансформировало в моем сознании образ комиссара, то ли все это было на самом деле, только перед моим взором возникает герой в буденовском шлеме, в длинной, до пят, шинели, перехваченной широкими красными нашивками по застежкам.

Но весь этот картинный образ стал со временем как бы туманным, нереальным, почти сказочным фоном, на котором ярко и резко выписаны только его огромные черные глаза. Глаза пророка, проповедника, горящие каким-то внутренним огнем. Они были очень красивы, но больше пугали, чем привлекали. Казалось, взгляд этих глаз одинаково напряженно направлен куда-то вдаль, мимо собеседника, и к какому-то внутреннему видению. Все остальное в его аскетическом лице, слегка тронутом оспинками, не запомнилось. Иногда я носил его записки к молоденькой учительнице прямо в школу, где я учился в первых классах. Я помню только, что учительница панически боялась его. А мне так хотелось объяснить ей, что комиссар совсем не страшный, он очень добрый и хороший. И что я, когда вырасту, очень хотел бы быть таким, как он. Я неоднократно, на своем детском языке, пытался все это объяснить. Но объяснения выходили путанные,

они еще больше пугали Веру Васильевну, Верочку, как мы, школьники, между собой называли юную учительницу. В этих случаях я, исполняя поручение, уходил из школы с каким-то неясным чувством вины перед комиссаром.

Комиссар питался скудным солдатским пайком. Мустафа и его друг Абдула иногда возвращались из экспедиций в соседние "антоновские" села с небольшим запасом продуктов: мешочком пшена, куском свиного сала. Видимо, эти продукты доставались не совсем законным путем; они тщательно скрывались от комиссара. Моя мать умела разыскивать эти запасы и ими подкармливала комиссара.

Мать, усаживая комиссара за стол, садилась напротив него, пугливо оглядывалась, когда комиссар закашливался и подносил скомканный платок ко рту: она хорошо знала, что все это значит: ее два брата умерли от чахотки, и старалась в это время не смотреть на комиссара.

Мать обычно сидела, подпирая щеку руками, и думала о чем-то своем. Я не знаю, слышала ли она его горячую речь, обещавшую в недалеком будущем рай на земле. Она только иногда тихо вздыхала. И во время его затяжного кашля вся как-то напрягалась, будто оказывая ему помощь.

Комиссар рассказывал о недавних боях на других фронтах гражданской войны, о своем погибшем брате, тоже комиссаре, на спине которого во время пыток, не помню в каком отряде украинского гетмана, вырезали пятиконечные звезды.

Помнится день, когда то ли комиссару нездоровилось больше обычного, то ли выпал случайно какой-то временный отдых, только в этот летний день лежал он в избе, укрывшись двумя шинелями, а рота его, получив задание, ушла в расположение населенного пункта в двух-трех километрах от нашего села.

Мать обратила внимание, что на нашей улице входит в село кавалерийский отряд необычного вида: необычной была полувоенная-полуштатская форма бойцов отряда и, как я заметил, явно самодельные седла. Это был тот единственный раз, когда отряд антоновцев захватил наше село. Мы разбудили комиссара, а я, вернувшись из краткой разведки, "доложил", что весь отряд скрылся из вида. Я знал наикратчайший путь к месту расположения отряда комиссара. Надо было перебежать нашу улицу, влезть в окно старого пустовавшего корпуса текстильной фабрики, добежать в несколько минут до реки, а там лесная тропинка выводит прямо к отряду.

За длинным двухэтажным зданием фабрики с поломанными ручными ткацкими станками прошлого столетия открывался двор старого, некогда богатого поместья. Место это еще называлось "дворней", и жили там семьи по фамилии Кучеровы, Поваровы, Кузнецовы, Ткачевы, напоминавшие о его далеком прошлом.

Часа через полтора из-за угла фабричного здания показался наш комиссар со своей ротой. Тачанки, развернувшись перед нашей избой, застрочили пулеметными очередями. Я вижу комиссара с наганом в руке, бегущего большими прыжками впереди отряда.

Вскоре, наступая, рота скрылась из нашего поля зрения. Поздно вечером Мустафа вернулся. Он был взволнован и, не глядя на нас, сказал, что "она ранен".

Мустафа не раз брал меня с собой наведывать раненого комиссара.

Комиссар слабел день ото дня. Мустафа старался утешить его. Он говорил, что это, может быть, "все к лучшему", что теперь он отвоевался и может поехать

домой. Что он приглашает его, я не помню куда, где живет его семья, что он будст пить кумыс и быстро поправится, что жена его от кумыса "такой толстый красивый, как бочка".

По дороге из больницы Мустафа размышлял вслух:

– Зачем пуля попал комиссар... Попал бы пуля в меня и все... или еще лучше в Абдула, – продолжал он после некоторого раздумья. – Абдула детей нет... жена нет... Лучше Абдула.

"ЕГО" ВАТНИК

Это было, кажется, году в девятнадцатом, а может быть, годом позже. В то время отец мой был "особоуполномоченным упродкома" (уездного продовольственного комитета). Жили мы в большом полурабочем, полукрестьянском селе вблизи старой текстильной фабрики. В нашем дворе бродила пара, на мой взгляд, прекрасных кавалерийских коней для поездки по делам упродкома. Не было большей радости для меня, двенадцатилетнего мальчугана, как скакать верхом, часто без седла, к реке на водопой или купанье. Иногда в этих поездках до ран натирались особо важные для верховой езды места, так что присохшие к ранам штаты приходилось отдирать с большими мучениями, буквально "с мясом".

В уезде уже разгоралось пламя эсеровских крестьянских восстаний, и страшные вести о разбушевавшейся стихии не были новостью в нашем, тогда волостном селе. Это было начало "антоновщины". Но в ближайшем округе, как говорили, "было спокойно".

Верстах в двадцати от села располагалось крупное поместье с очень большим фруктовым садом. Яблоки этого сада доставлялись в кооперативную лавку соседней фабрики. Пришла просьба от сторожей сада "прислать ружьишки, попугать бандюг", непрошенных гостей в этот рай поспевающих яблок. Помощник отца, дядя Вася, получил распоряжение доставить сторожам пару винтовок и небольшой запас патронов. Я упросил дядю Васю взять меня с собой. И вот я сижу на коне в хорошем, как дядя Вася говорил, "офицерском" седле с настоящей винтовкой за плечами. Карманы полны патронов с ярко светящимися на солнце тупоголовыми пулями, помнится, от румынской винтовки.

Поместье оказалось сожженным еще год назад, и сад, без недавно снесенных оград, смотрелся издали как большой участок тенистого леса.

Сторожа сидели вокруг костра. В большом "чугуне" молочная пшенная каша с душистыми яблоками уже покрывалась коричневой пленкой. Время было голодное, и вкус этой каши надолго остался в памяти. Нас угощали какими-то невиданными сортами яблок: они казались совсем прозрачными, так что в середине выступал ясный рисунок черных семечек.

Спать в шалаше было тепло и уютно, но непривычные ночные звуки, какие-то шорохи, наполнявшие сад, мешали спать. И проснулся я рано. Вышел из шалаша. Костер давно потух. Прохладное утро. Чувствовалось приближение осени. Моя лошадь паслась совсем рядом. Было очень приятно прижаться к ней и ощутить

живое согревающее тепло. Я как-то механически накинул на лошадь седло и когда затягивал подпругу, меня окликнул дядя Вася. Он спросил, не собираюсь ли я уже ехать домой. Вопрос звучал критически. Явно ожидался отрицательный ответ.

Неожиданно для себя, вероятно из мальчишеского чувства противоречия, я сказал, что действительно хочу ехать домой. Несмотря на уговоры дяди Васи, сторожей и разочарованные лица моих новых друзей-близнецов, детей одного из сторожей сада, мое решение оказалось непреклонным. Наконец, дядя Вася махнул рукой; "Весь в отца", – сказал он и только накинул на мои плечи свой теплый ватник.

Сидя на лошади, я сделал нечто вроде прощального круга (по-моему очень эффектно) и чуть не выскочил из седла, пустив лошадь в галоп. Потом поехал медленнее и медленнее, раздумывая о своем поступке и предстоящем объяснении с отцом. Почти решил вернуться, но ощущение какой-то неловкости, нелогичности в таком поведении не давало нарушить инерцию движения. Часа через два я был уже дома. Объяснение с отцом, как и ожидалось, оказалось далеко не из приятных.

Дядя Вася не вернулся через день, как было условлено. Не вернулся и через неделю. Вскоре стало известно, что в следующую после моего отъезда ночь на сад было совершено вооруженное нападение, дядя Вася и все находившиеся в сторожевом шалаше были убиты. Погибли и двое близнецов, моих новых друзей, которых за короткое время знакомства я еще не научился различать.

Ватник много лет висел у нас на вешалке среди другой одежды и назывался просто: "его" ватник.

НЕВИННАЯ ЖЕРТВА

Черт накрасил себе нос;
Напомадил руки.
Он из погреба принес
Нанковые брюки.

Саша звонко отстукивает молотком по маленькой стальной наковальне. Саша – слесарь по ремонту на ближайшей текстильной фабрике. Лет ему от силы 18, а нет лучшего слесаря во всей округе.

У себя в огороде, в землянке, он оборудовал слесарную мастерскую, и мы, мальчишки, днями пропадали там. Саша научил нас припаивать медью бородки ключей, вставлять дно в жестяные ведра, опиливать, резать металл и многому другому. Но особенно нам нравились те дни, кода Саша, по его словам, начинал "мудрить". "Мудрить", на Сашином языке, означало изобретать. Сашиной мечтой было построить вечный двигатель. Несмотря на все его искусство и различные ухищрения, вечный двигатель не получался.

Самые замысловатые системы возникали в Сашиной голове. С гордостью можно сказать, в их реализации мы, мальчишки, принимали самое деятельное

участие. Для создания вечного двигателя мы решались на самые отчаянные жертвы: тащили со своих дворов все, что нужно для осуществления очередного проекта. Стойко переносили соответствующие возмездия от своих родителей, упрямо не желавших понять всей важности проблемы вечного двигателя. Который раз мы с удивлением констатировали, что система, казалось бы, идеально приспособленная для вечного двигателя, неизвестно почему не оправдывала наших надежд.

Отчаявшись, Саша как-то решил соорудить небольшой движок внутреннего сгорания. Речь шла о самой примитивной конструкции, когда подаваемое топливо зажигалось внутри груши, приваренной к цилиндру машины. Груша эта предварительно раскалялась паяльной лампой. Много труда и изобретательности вложил Саша в осуществление конструкции с помощью наличных скудных средств. Наконец, все сооружение было закончено. Чтобы запустить машину, требовался хотя бы керосин. Но это был 20-й год, и керосин был едва ли не самым дефицитным товаром.

Лето выдалось сухое, жаркое. В округе горели торфяные земли и леса. И для привлечения населения к этой нелегкой и опасной работе "трудодни" по тушению пожаров стали оплачивать керосином...

Отец Саши получил за свою работу керосину целый бидон, литров пять. Он поставил бидон с керосином на стол и отправился к соседу "вспрыснуть" удачу самогоном. Саша долго ходил вокруг стола, почесывая затылок. Он понимал, что нет никакой надежды уговорить отца отдать этот керосин на запуск движка. Отец и так косо смотрел на Сашины "чудачества". Он критически осматривал Сашино сооружение и часто спрашивал, когда он, наконец, перестанет "дурить", "возьмется за ум". "Взяться за ум" значило начать выполнять прибыльные работы многочисленных заказчиков-односельчан.

Прошли долгие минуты, прежде чем я увидел по выражению Сашиного лица, что он на что-то решился. И действительно, в жестяную банку была влита большая часть драгоценной жидкости. На мой испуганный взгляд Саша криво усмехнулся, быстро схватил в сенях ведро с водой и выплеснул воду на пол избы, вылил в эту же лужу из бидона остаток керосина, а бидон бросил около стола. Саша создал полную иллюзию ужасного несчастья: бидон как-то упал со стола, и керосин разлился по полу...

Была возможность очень просто объяснить все это несчастье: в предвкушении выпивки отец в спешке неосторожно поставил бидон на самый край стола.

Мы постарались быстрее исчезнуть из избы, даже не успев закрыть за собой дверь, и организовали пост наблюдения в густой ботве картофельного огорода. Сашин отец долго не появлялся. Мы увидели только, что в открытую дверь избы прошел петух Петька, любимец Сашиного отца и единственная живность в доме. Отец Сашин много лет жил бобылем и относился к петуху с большой нежностью. Его огорчало только, что нахальный соседский петух часто и больно трепал Петьку.

К огорчению отца, Петька обычно спасался позорным бегством. Мы знали, что Сашин отец лелеял план победы над соседским петухом. Он хотел в соответствующий момент накормить Петьку хлебом, размоченным самогоном, надеясь,

что в этом состоянии Петька окажется более храбрым. Но как-то случилось, что когда отец кормил Петьку хлебом, как назло соседских петух не появлялся. А когда возникала возможность дуэли, не оказывалось самогона или даже хлеба.

Мы ждали долго. Наконец, появился Сашин отец. Он шел сильно покачиваясь и жестикулируя, разговаривая сам с собой; долго стоял посреди двора, что-то мучительно соображая, зашел в сарай и вскоре появился с топором в руках: видимо, собирался нарубить дров. Но так как быстро выяснилось, что из этой затеи ничего хорошего не получалось, только отлетевшая чурка больно ударила по лбу, он, держась за лоб и не выпуская топора из рук, направился в избу. Мы видели, как он буквально замер в дверях избы, а затем с криками и ругательствами бросился ловить петуха.

Мы поняли, что петух принял всю нашу вину на себя... Мы видели, как Петька оказался в его руках. Затем – взмах топора по порогу... Когда мы вышли из нашего убежища, Сашин отец держал голову петуха в своей руке. Напряжение охоты и борьбы спало. Он только устало, с пьяным раздумьем, глубокомысленно изрек:

– Н-да!.. Теперь обратно не приставишь...

Только мы не были рады нашей удаче.

БЕСПРИЗОРНИК
(лето, 1922)

В эти годы начиналось медленное восстановление хозяйства страны. Началось и робкое новое строительство. В то время даже небольшие успехи в этом начинании воспринимались восторженно, как доказательство возможностей нового общества в преодолении многолетней разрухи в стране и создания материальных ценностей.

Помнится (несколько позже), с каким интересом москвичи наблюдали строительство дома "Моссельпрома" недалеко от Арбатской площади, совсем небольшого здания по теперешним масштабам.

В Москве ремонтировались разбитые тротуары. Большие, круглые жестяные печи, в которых закладывались котлы для варки асфальта, вписались в пейзажи городских улиц.

К этому времени относится, не помню кем написанный, диалог между бронзовыми Мининым и Пожарским:

– Затянут дымом горизонт.
Уж не враги ль добычу шарят?
– Нет, князь, в Москве идет ремонт –
Асфальт в котлах усердно варят.

Печи эти часто служили убежищем беспризорным ребятишкам, их судьба и численность стала важной государственной проблемой.

Как-то, выглянув из окна своей квартиры, я увидел на тротуаре мелом нарисованные клетки. По этим клеткам прыгала на одной ноге девочка из нашего дома. Было видно, что ей скучно одной играть в эту игру, и она время от времени озиралась, ожидая какого-нибудь партнера.

Неожиданно партнер появился. Это был беспризорник лет девяти-десяти. Несмотря на летнюю жару, он был одет в теплый ватник, а на голове высился огромный меховой малахай с растрепанными ушами. Длинные уши забавно болтались во время прыжков. Болтались и полы ватника, полностью лишенные пуговиц. Прыгал он самозабвенно, лицо, покрытое угольной пылью, светилось детским восторгом от неожиданного счастья. Вместе с тем он был так нежен и покровительственно предупредителен к девочке, что быстро заслужил ее полное доверие.

Но недолго длилось это детское счастье. Из соседнего окна послышался озабоченный крик:

– Аннушка... Аннушка, иди домой!

Аннушка, поглощенная игрой, не слышит голоса бабушки.

– Аннушка... Аннушка, кому говорю!.. – в голосе бабушки уже слышна угроза.

– Аннушка, прекрати игру с этим оборванцем!

Лицо "оборванца" на мгновение становится по-взрослому жестким. Но при взгляде на опрятно одетую девочку, оно смягчается, и я слышу он говорит ей тихо:

– ...Иди... иди, Аннушка, домой... Мамка ругаться будет.

– Ну ее, это бабушка, – недовольно надувает губы девочка.

– Все равно, Аннушка, иди... иди...

Он хотел дотронуться рукой до ее плеча, как бы подтолкнуть к послушанию бабушке, но, посмотрев на свои черные от грязи и угля пальцы, удержался. Только запахнув ватник, сгорбившись, быстро побежал по улице. Я заметил, что скрылся он в железном котле для варки асфальта.

Спустя довольно долгое время, гуляя по улице, я заглянул в этот котел. Мальчуган лежал на спине и задумчиво смотрел вверх на синее летнее небо.

– Тебе что? – сказал он недружелюбно.

– Так...

– А, так... – он усмехнулся, достал из кармана какой-то порошок, раскрыл и втянул содержимое носом.

– Что это? – не удержался я от вопроса.

– Марафет, – ответил он спокойно. Достал второй порошок и предложил мне. – Хочешь?

Я не знал, что такое "марафет", но отрицательно покачал головой.

Малахай соскочил с его головы, и голова оказалась лысой, как у глубокого старца. Я не удержался от какого-то нелепого вопроса.

– Ты, что, дурак? – он снисходительно и артистически высоко сплюнул сквозь зубы.

Зачарованный далеким плевком, я не обиделся и только спросил:

– Ты здесь живешь?

– Угу, – был короткий ответ, и он, зевнув, повернулся ко мне спиной, дав тем понять, что разговор закончен. Я пытался задать еще какой-то вопрос. В ответ он, не оборачиваясь, глухо и угрожающе произнес:

– Иди ты... знаешь куда...

Я уже знал, куда посылают в таких случаях, и счел за разумное удалиться.

НЕЗАРЯЖЕННОЕ РУЖЬЕ СТРЕЛЯЕТ...
(Приишимье, 1923)

За утренним чаепитием у самовара мы обычно бывали втроем. Напротив меня степенно восседал казак, как мне тогда казалось, очень пожилой, сын хозяйки избы. Сбоку моя сестра, студентка, с ней мы вместе в этих приишимских степях проводили памятное лето. Накануне была удачная охота, я даже расстрелял неприкосновенный запас: два патрона с картечью. Старая казачка, осматривая уток, качала головой: "Как же ты их так... Это же мешки с рубленными костями..."

Сидя за столом, я держал ружье в руках, пощелкивая предохранителем. Иногда по глупой мальчишечкой шутке наводил ружье на сестру. Сестра спокойно заметила, что она понимает, ружье не заряжено, но как-то неприятно смотреть в черное отверстие дула. Казак, держа блюдечко с чаем в руках, сказал, что он старый "николаевский" солдат привык не бояться ружья.

– Не боитесь? – повторил я и прицелился прямо в лоб казака. Держа приклад ружья навесу, нажал курок, и неожиданного грянул выстрел. Заряд картечи лишь слегка коснулся волос казака: отдача при выстреле изменила траекторию картечи.

Чем дальше в прошлое уходит этот случай, тем с большим ужасом вновь переживаются страшные мгновенья: я вижу побледневшее лица казака и дрожащее мелкой дрожью блюдечко у его подбородка.

Не могу понять, как случилось, что у меня оказался лишний патрон картечи...

Говорят, раз в жизни незаряженное ружье стреляет.

P.S. Чем старше я становлюсь, тем с большим ужасом вспоминаю это событие... Ведь я мог убить сестру, расстрелять казака... Ужасно...

О ЛОГИКЕ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ДЕЛЕ

Будучи студентом Московского университета, я получил право на бесплатный проезд в летнее каникулярное время по железной дороге до города Старая Руса и обратно. Это было в 1928 году.

По пути в Старую Русу мне очень понравились живописные окрестности Валдая, Валдайское озеро, в особенности его чудесный лесистый остров со старым зданием монастыря.

Я решил на обратном пути на неделю-другую задержаться в городке Валдае. Что и осуществилось: я купил за наличные деньги билет от Старой Русы до Валдая, надеясь использовать бесплатный "литер" на поездку от Валдая до Москвы.

У меня до сих пор в памяти озеро, остров, радушные ребята-практиканты из сельскохозяйственного техникума, с которыми я быстро сдружился. Они гостеприимно устроили мне житье в пустующих классах. Даже жесткое ложе стола с рюкзаками в качестве подушки, не омрачало моего безмятежного существования.

Но настало время возвращаться в Москву. На пустынной железнодорожной платформе я осторожно постучался в фанерное окошко билетной кассы. После повторных более настойчивых, по моему мнению, все еще вежливых постукиваний медленно открылся фанерный занавес, и я увидел в рамке окна типичную физиономию пожилого железнодорожника. Она была типична своими очками в железной оправе, широкими усами, которые занимали добрую четверть лица. Он молча окинул меня вопрошающим взглядом. Я объяснил ему, что у меня "литер" для бесплатного проезда по этой дороге от Старой Русы до Москвы, что часть пути от Старой Русы до Валдая я проделал за свои деньги, а на оставшуюся часть пути от Валдая до Москвы я хотел бы реализовать свой бесплатный "литер". Железнодорожник, в моем представлении именно железнодорожник, в силу каких-то причин исполняющий роль кассира, пожевал губами и произнес фразу, страшный смысл которой не сразу дошел до моего сознания, правда, уже вселив некое интуитивное чувство опасности:

– Ведь у Вас "литер" от Старой Русы до Москвы, – он почему-то сделал сильное ударение на слове "Старой".

Продолжение диалога было коротким.

– Да, от Старой Русы… – ответил я, также почему-то акцентируя слово "Старой".

Усатая личность изрекла короткое: "Ну и вот!", и фанерный занавес опустился.

Пожав в недоумении плечами, я в раздумье сделал несколько концов по залитой солнцем пустынной платформе. Проходя всякий раз мимо билетной кассы, я видел все тот же фанерный занавес. Стукнуть в окошко я как-то не осмеливался. Я понимал бесцельность моих челночных операций. Если бы я знал магическую формулу заклинания "Сезам, откройся!", я бы немедленно ею воспользовался. Но такого заклинания я не знал и продолжал уныло и одиноко торчать на платформе. Свой денежный кошелек, который я открыл, чтобы еще раз взглянуть на злополучный "литер", вселил в меня твердую решимость возобновить диалог с кассиром: у меня в кошельке оставалось только несколько копеек, резерв для оплаты трамвайного билета от вокзала до дома…

– Ну… – произнесла усатая личность, возникая как прекрасно исполненный портрет на темном фоне, резко ограниченном рамками окна.

Я стал длинно и сбивчиво объяснять, что у меня бесплатный проезд по этой дороге (я даже указал пальцем на рельсы), что часть пути я проехал, потратив свои, подчеркнул, свои собственные деньги, что государству только выгоден мой бесплатный проезд на оставшемся почти половинном пути моего следования.

Усатая личность, казалось, внимательно и сочувственно слушала мою запутанную речь. Но затем, со скучающим видом повторил страшное, прежнее, добавив только внушительное: "...поймите!"

– Поймите, – сказал он, – у Вас "литер" от Старой Русы... – Опять очень сильное ударение на слове "Старой", оно как-то мешало мне понять логику отказа.

На этот раз фанерный занавес не опустился, и мой собеседник застыл в позе созерцания чего-то очень далекого за моей спиной. Я решил пустить в ход, мне казалось, очень убедительные аргументы, но, в сущности, более сбивчиво повторил все уже прежде сказанное. Я только заключил свой монолог вопросительной фразой, которая подводила итог всему сказанному и звучала, как мне казалось, убедительно: "Ну где же логика в Вашем отказе?"

Усатая личность посмотрела на меня внимательно поверх своих очков и произнесла фразу, которая разрушила начисто весь строй моих аргументов.

– Молодой человек, – сказал он, – если я в железнодорожном деле буду логикой руководствоваться, знаете, что у меня получится?

Я так и не узнал, что получится "в этом случае", а фанерный занавес снова опустился. Я уныло побрел к моему временному убежищу. Оно располагалось на самом берегу Валдайского озера. Попытка "смыть" налет неприятных настроений в чистых водах озера, в сущности, не удалась. Я, сидя на берегу, вытащил из рюкзака булку и часть кружка краковской колбасы, точнейшим образом разделив весь мой продуктовый запас на две равные части (на утро и вечер), размышляя о своем трудном положении, я не заметил, как уничтожил обе половины булки и весь кружок колбасы...

Разные проекты приходили мне в голову: занять у кого-то деньги... Но я знал, что у моих новых друзей таких денег не было. Попытаться проехать "зайцем", но у меня еще не было соответствующей практики, а отсюда и уверенности в моих способностях сыграть эту роль.

Говорят, я не знаю, правда ли это, что преступника тянет посетить место своего прошлого преступления. Я не чувствовал себя преступником, но меня неудержимо тянуло вновь увидеть злополучную платформу и кассу, хотя я не понимал ни логики, ни основания этого желания.

Вскоре я опять увидел знакомую пустынную платформу и снова начал свои челночные операции. В поле моего зрения появился молодой парень в сдвинутой набекрень форменной фуражке. Он лихо что-то насвистывал и размахивал в такт каким-то жезлом, который я не раз видел в руках станционных работников.

Моя скорбная, одиноко торчащая на платформе фигура, привлекла его внимание. Вблизи я увидел добродушно улыбающуюся физиономию, обильно покрытую веснушками, с коротким, но задорно вздернутым носиком.

Мне всегда казалось, что такие рыжеватые парни очень сердечны и отзывчивы и в душе лирики. Мне захотелось излить свое горе, скорее произнести свои мысли вслух, но не просто в пустое пространство.

– Понимаешь, друг, – начал я несколько торжественно. – Я попал в пренеприятное положение.

Мой новый, уже почти знакомый, ожидал разъяснений. Он успел сообщить

мне, что находится здесь на практике от какого-то института, что сюда, в эту глушь, его "занесла нелегкая".

– Понимаешь, у меня бесплатный проезд от Старой Русы до Москвы, – сообщил я. Мой голос и выражение лица придали этой фразе оттенок сильного сожаления.

– Ну и что?.. – был его короткий не то вопрос, не то ответ.

– Понимаешь, – повторил я, – что у меня "литер" бесплатного проезда, к сожалению (подчеркнул я), к сожалению, не от Валдая, а от Старой Русы... Понимаешь?

– Ну и что... – снова повторил мой новый знакомый.

Над моим сознанием так довлел диалог с кассиром, что его "ну и что" мне казалось неуместным или даже просто издевательским.

Я почувствовал безнадежность дальнейшего разговора, мне казалось, что мы говорим на разных языках.

– Но мне ведь нужно доехать до Москвы. У меня нет ни копейки на билет, – уныло закончил я свои сетования.

– Купить... а зачем? У тебя есть же "литер", – кажется, серьезно недоумевал парень. Он даже сдвинул свою форменную фуражку на самый затылок.

– Но пойми же ты, у меня "литер" от Старой Русы, а не от Валдая... Пойми!

– Ну и что? – повторялось снова.

– Ну и что... Ну и что, – зачастил я с раздражением. – Вот это и что!

– А! – протянул рыжий парень. – Ты едешь в Москву... и тебе нужен билет. Так бы и сказал... Пойдем, я тебе выпишу по твоему "литеру".

С тех пор я понял, что логика в железнодорожном деле действительно отсутствует.

ПРИЛОЖЕНИЯ



ОШИБКА ФИЗИОЛОГА НЮ

ОТ АВТОРА*

Человечество стремится как можно дольше продлить жизнь отдельного индивидуума.

Известные успехи в достижении этой цели заметны на двух различных направлениях.

С одной стороны, совершенствуются условия существования человеческого организма в широком смысле этого слова: успешно ведется борьба с болезнетворными микробами, угрожающими жизни человека, имеются достижения в борьбе с физиологическим старением. Мечта о физически совершенном, не стареющем человеке, может быть, осуществится, когда будут постигнуты пока таинственные законы строения организованной материи и можно будет управлять этими законами. Верится, что такое время должно настать.

Другое направление в достижении той же цели – долголетия – связано с возможной "механизацией" человеческого организма, когда функции некоторых органов берут на себя механические конструкции: механические сердце, легкие, почки... Давно хотелось проанализировать, если можно так сказать, логическую структуру этого второго направления. Как оказывается, внутренняя логика предельной механизации человеческого организма ведет к неограниченному долголетию не человека, а мыслящей материи.

Интересны социальная структура такого общества, изменения представлений о жизненных ценностях и т.д.

Следует сказать, что идея и основной текст повести имеют почти пятидесятилетнюю давность. Полвека назад, правда, очки и искусственные челюсти были реальными достижениями на пути "механического" совершенствования человеческого организма.

За прошедшие десятилетия, как известно, достижения в этой области далеко ушли из сферы фантазии, и реальные возможности здесь, видимо, действительно безграничны, даже, пожалуй, в не очень далеком будущем.

Надо сказать, что если совершенствование биологии и физиологии человека окажется в чем-то ограниченным, то желание мыслящего существа как можно дольше продлить свое существование неизбежно приведет к принятию им любой формы механизации своего организма.

Пожалуй, эти последние обстоятельства дали основание автору изложить свои старые заметки, использовав для этого литературную форму фантастической повести.

Если говорить строго, то по содержанию и композиции это не литературное произведение, а скорее некоторые отрывочные мысли, высказанные вслух.

---

* М.: Знание, 1988 г. 159 с.

В первоначальном издании научно-фантастической повести "Ошибка физиолога Ню" автор рисунков не указан. Редакторы-составители полагают (после консультаций с художниками, лично знавшими Моисея Александровича), что рисунки могли быть выполнены самим М.А. Марковым. – *Примеч. сост.*

ВВЕДЕНИЕ

Мне необходимо хотя бы несколько страниц, чтобы описать те необычайно странные обстоятельства, при которых у меня появилась эта, скажем условно, фантастическая повесть.

Условно потому, что приведенные в ней факты, которые, казалось бы, представляют собой безудержную фантазию автора, и фантазию, явно не имеющую ни малейших футурологических научных оснований, засвидетельствованы документальными записями известного ученого Петра Николаевича Андреева.

Скончавшийся в пятидесятых годах профессор Петр Николаевич Андреев по своему научному профилю, по широте интересов был близок к Климентию Аркадьевичу Тимирязеву.

Петр Николаевич принадлежал к тому поколению ученых, которые считались не физиками, не биологами, не физиологами, а просто естественниками. Должно быть, Петр Николаевич был последним из ученых такой широкой универсальности. Хотя его основные работы, принесшие ему мировую известность, относились все-таки к одной области – физиологии.

Мне хотелось бы подчеркнуть, что я, вроде бы автор этой во многих отношениях необычной повести, в сущности, не могу считаться таковым.

Все дело в сплетении невероятных случайных совпадений. Началось с того, что в один из вьюжных зимних дней я сидел за письменным столом в своем кабинете и мучительно искал ошибку в вычислениях. Работа не спорилась, неудержимо захотелось отдохнуть, пройтись по Ленинскому проспекту. Это желание само по себе выглядело несколько странным (я об этом вспомнил лишь после), поскольку возникло оно в необычайно непогожий вьюжный день. Должен сказать, что я люблю солнечную морозную зимнюю погоду и физически не выношу бьющего в лицо, слепящего глаза, колющего морозного снега и ветра, перехватывающего дыхание.

Я несколько раз надевал шубу, смотрел с неудовольствием в окно, решительно снимал шубу и потом почему-то почти механически надевал ее снова, словно существовала какая-то подсознательная необходимость в этой, не предвещавшей удовольствия прогулке.

Оказавшись на улице, я мысленно продолжал искать возможные источники ошибки в моих вычислениях. Видимо, я не очень обращал внимание на все окружающее, потому что часто получал от прохожих толчки и соответствующие нравоучения.

Вдруг приятный баритон назвал меня по имени и сказал: "Вы удивительно точны, пришли как условлено, ровно в половине второго".

Я с недоумением посмотрел на говорившего. Еще больше я удивился, когда обнаружил, что оказался в одном из арбатских переулков, как раз около дома, где когда-то, я знал, жил Петр Николаевич Андреев. Дом сносился, работали бульдозеры, поднимая пыль, которая, мешаясь с вьюжным снегом, окутала все вокруг слабо проницаемой пеленой.

Я не мог объяснить, почему оказался именно в этом переулке, где не был добрый десяток лет. Вначале я не очень обратил внимание на услышанные мною слова: они явно были вызваны каким-то недоразумением.

Окликнувший меня человек был среднего роста, в модном меховом пальто, на ногах его красовались унты, а на голове несколько фатоватая шапка из пыжика. Лицо и шея были закутаны цветным мохеровым шарфом.

Я вежливо ответил, что, очевидно, произошло какое-то недоразумение, что он принял меня за кого-то другого, что я ни с кем не уславливался о встрече.

– Однако, – сказал незнакомец, – вы же очень стремились прийти именно сюда, несмотря на непогоду, в которую обычно избегаете выходить на улицу. Но не будем спорить попусту. У меня к вам есть важное дело. – Он значительно подчеркнул – "важное". – Вы ведь хорошо знали профессора Андреева, дом которого сейчас подлежит сносу?

Я подтвердил, что не только знал Петра Николаевича, но в какой-то мере обязан ему в формировании моего научного мировоззрения.

– Ну так вот, – сказал незнакомец, – мне удалось спасти его записи, которые он завещал опубликовать через пятьдесят лет после его смерти. Я хотел бы вручить их вам на хранение.

Я механически взял из рук незнакомца хорошо запечатанную картонную папку.

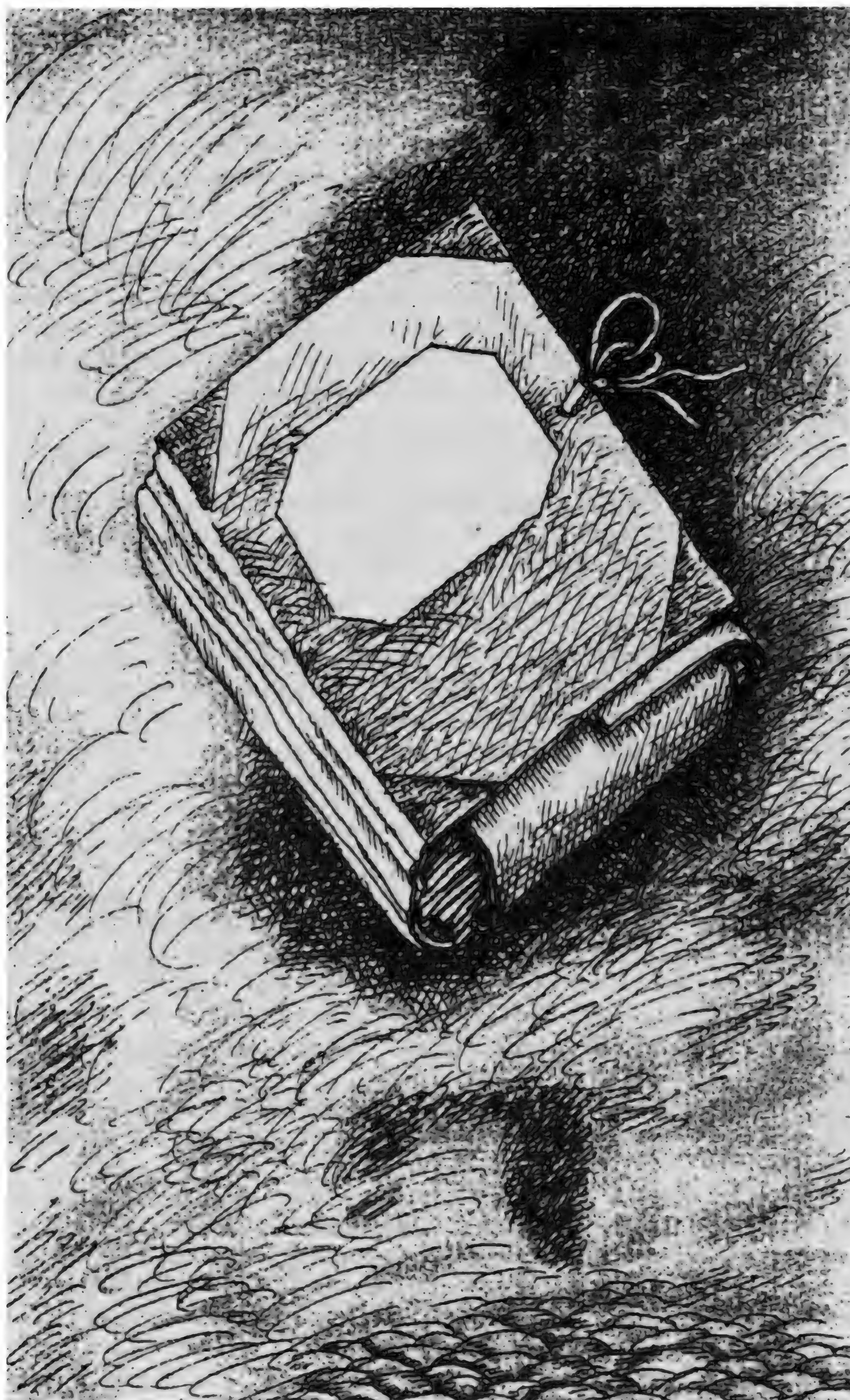
Рассматривая обложку папки, я с удивлением прочитал, что она адресована именно мне и что надпись сделана рукой Петра Николаевича.

Дома я положил вверенный мне пакет в ящик стола и принялся за свои вычисления. Для работы день выдался спокойный. Внучата из-за плохой погоды задержались у себя дома. Жена ушла к соседке "на минутку", это значит по крайней мере часа три ее не будет дома. У домработницы – выходной день.

Работа действительно спорилась. Настало время отдохнуть от утомительных вычислений. Отодвинув в сторону исписанные формулами листы, я поднял голову и вдруг увидел перед собой сидящего человека почтенной наружности. На голове его была теперь давно забытая "академическая" шапочка-ермолка из тонкой черной материи. (Ее обычно носили дома люди интеллектуальных профессий.) Огромные очки скрывали глаза, а какой-то выступ на оправе закрывал небольшой, видимо, нос незнакомца. Рот его напоминал красноватую тонкую полоску.

Вначале я почему-то даже не удивился его присутствию. И только потом возник вопрос: как он мог войти в запертую на замок квартиру и вообще – что все это значит?

– Вы удивлены? – сказал незнакомец тем же приятным баритоном, который звучал в том злополучном арбатском переулке.



Незнакомец был мне чем-то симпатичен, и я, приветливо улыбаясь, ответил, что действительно удивлен: дверь на замке, и никто не мог впустить его в квартиру.

– Ну, об этом после, – сказал он. – Сейчас мы приступим к работе.

– Что значит "мы", и о какой работе идет речь? – спросил я.

Он ответил, что речь идет об изложении тех событий и фактов, свидетелем которых в самом начале тридцатых годов оказался Петр Николаевич.

Эти факты настолько необычны, объяснял незнакомец, что вряд ли кто-нибудь в них поверит... Петр Николаевич понимал, что публикация подобных фактов, так сказать, в голом виде, неразумна. Мы же, говорил мой гость, вплетем их в некий фантастический рассказ, будто бы случайно возникший в беседе случайно встретившихся людей. Как всякие разговоры такого рода, рассказ, конечно, будет рыхлым по своей композиции, с далекими от основной темы отклонениями. Но в рассказ будут вкраплены кажущиеся выдуманными реальные события. По мнению Петра Николаевича, они, может быть, имеют фундаментальное значение для вашей будущей истории, для будущего самого человека как биологического вида.

Я возражал: во-первых, я не литератор, а во-вторых, я не знаю этих фактов.

– Факты здесь. – Незнакомец указал на папку, лежащую на моем столе. – Петр Николаевич сам хотел изложить все это в виде фантастического рассказа, но не успел. Наша задача – связать в единое целое заметки Петра Николаевича.

– Но я же не литератор, – повторил я своему посетителю.

– Попробуйте, – настаивал он. – Попробуйте придумать такое нейтральное название, которое могло бы быть названием любого наперед заданного рассказа. Эта почти математическая задача интересна для ученого и сама по себе, не правда ли?

Я почему-то действительно вдруг заинтересовался неожиданной общностью проблемы, и с ходу, не раздумывая, записал на листе бумаги: "В поезде дальнего следования".

– Прекрасно, – сказал мой гость, – а теперь раскройте папку Петра Николаевича.

Раскрыв пакет, я увидел на первой странице рукописи четко выведенное крупными буквами: "В ПОЕЗДЕ ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ". Правда, эта фраза была заключена в скобки и ей предшествовали слова: "ОШИБКА ФИЗИОЛОГА НЮ".

Несомненно, это был почерк Петра Николаевича.

Я удивленно посмотрел на незнакомца. Это был немой вопрос, скорее много вопросов сразу.

– Совпадение, конечно, не случайно, – комментировал он. – Ваше длительное общение с Петром Николаевичем естественно привело к некоторому родству мышления.

Комментарии звучали, по правде говоря, несколько издевательски. В тот момент они прошли мимо моего сознания, поскольку необычное содержание заметок Петра Николаевича полностью завладело моим вниманием. Я немедленно приступил к работе, будучи в состоянии, близком к какой-то несвойственной мне эйфории. Фразы одна за другой ложились на бумагу, как если бы они были заготовлены в моем мозгу заранее.

Лишь через несколько часов я услышал как бы в отдалении звучавшие голоса: "Завтра в девять... завтра в девять... завтра в девять..." Звуки постепенно затихали, и мне казалось, они раздаются где-то вне дома, за стеной моего кабинета.

Хотя мой рабочий день обычно начинается в десять часов, назавтра в девять я уже сидел за письменным столом. В какой-то момент, оторвавшись от рукописи, я снова увидел перед собой незнакомца, который молча наблюдал за моей работой.

Кот Васька, любимец моих внуков, спокойно расхаживал по столу, садился на стопку исписанных листов, сладко позевывал. Он не обращал никакого внимания на незваного гостя, хотя всегда выражал неудовольствие, когда встречал в моем кабинете незнакомого человека. Пудель Мишка, который обычно облаивал всякого вновь прибывшего, в истоме покоился у ног моего посетителя, положив голову на его теплые унты.

Жена, заглянувшая в кабинет, сказала: "Вот хорошо, что ты один. Мне надо будет поговорить с тобой об одном деле".

Я не очень вежливо и сухо ответил ей, сказав, что занят. Она удивилась и с сердцем захлопнула дверь.

Наконец я все же решился спросить своего визави: кто же он на самом деле или даже "что"?

– Во всяких чертей, ведьм и тому подобную нечистую силу я не верю, но ваше появление противоречит всем законам физики. Как это можно разумно объяснить? Почему кошка и собака с таким равнодушием относятся к вашему присутствию? Почему жена не поздоровалась с вами – это невежливо и не в ее характере?

– Они меня просто не видят, – ответил он скучным голосом.

– Но я-то вас вижу! – воскликнул я с досадой. – Может, я вижу вас во сне?..

– Нет, – сказал он тем же скучным голосом. – Нет... Вы видите меня на самом деле.

– Но кто же вы? Вы появляетесь в моем кабинете неизвестно откуда и как?..

Собеседник молча указал на глухую наружную стену кабинета. Я удивленно посмотрел на стену и пожал плечами.

– Может быть, вы цирковой маг и волшебник, мастер обманывать публику своим искусством?

– Ничего подобного, профессор, – как бы нехотя ответил он, – ничего подобного..

Слово "профессор" я воспринял как явное издевательство надо мной.

– Так кто же вы, наконец? – настаивал я.

– Не спешите, – ответил незнакомец, как бы успокаивая меня, – вы все узнаете из рукописи.

Я сказал, что в таком случае решительно отказываюсь от участия в этом странном деле.

Незнакомец выразил крайнее удивление, он, видимо, даже растерялся.

– Что же вы хотите знать обо мне?

– Я хочу знать, наконец, кто вы или что вы!

– Хорошо, – ответил незнакомец, – вы спрашиваете, человек я или "что"? Я не человек, но существо, а может быть, с вашей точки зрения, даже "что". Больше я вам ничего не скажу, все остальное вы узнаете из повести.

И мой визави, как и вчера, мгновенно исчез.

Он не таял постепенно, он не делал каких-либо движений, он исчезал в буквальном смысле этого слова.

Наши встречи, протекавшие с тождественным однообразием, продолжались четыре дня.

В последний день незнакомец сказал:

– Ну вот, работа почти закончена, я должен с вами проститься и поблагодарить за написанную повесть, которую вы, конечно, издадите. Если вы хотите знать мою истинную профессию, могу сказать, что я долгое время был хранителем музея в городе Разума. Это совсем недалеко от Вечного города – вот и все…

Почувствовав, что этот ответ меня не удовлетворяет, он добавил:

– Мне нельзя говорить дальше. Вы помните шагреневую кожу у Бальзака? Так вот, моя шагреневая кожа близится к концу. Это, конечно, аллегория. На самом деле биологические часы всех клеток своего мозга я "поставил" на определенное время, и это время наступит через минуту.

– Вы что, умрете здесь, в кабинете? – невольно вырвалась у меня фраза, о которой я уже жалел. – И почему такое решение?

– Нет, – сказал незнакомец. – Я просто исчезну. Исчезну, потому что, как вы поймете из записок Петра Николаевича, я потерял смысл жизни.

Мой собеседник исчез.

Когда я работал над заметками Петра Николаевича, то логика описываемых событий казалась настолько убедительной, что не оставляла каких-либо сомнений в их реальности. Но, перечитывая написанное некоторое время спустя, я не мог отделаться от мысли, что стал жертвой какой-то мистификации.

Может, вся история с записками Петра Николаевича была результатом внушения, а может быть, и самовнушения или просто результатом временного помешательства? (Ведь оригинал рукописи исчез вместе с моим незнакомцем…)

Естественно, что последние соображения не очень меня радовали. Я часами перелистывал написанные мной страницы, в памяти возникали многие полузабытые события двадцатых–начала тридцатых годов. В событиях полувековой давности я искал, но не находил какие-либо случаи, в какой-то мере похожие на те, что описывались в рукописи. В конце концов у меня появилось непреодолимое желание убедиться в реальной возможности хотя бы одного из множества необычных событий, которыми так богата рукопись. Я даже поехал в Воронеж, где, если верить рукописи, в тридцатых годах произошло много странного. Прошедшая война уничтожила поселки, названия которых я выписал в свою записную книжку. Люди, свидетели тех времен, видимо, тоже исчезли.

В погожий день я решил прогуляться по берегу, как мне его назвали, Щучьего озера. Утомившись, я присел подле дряхлого старичка, который демонстрировал мне свою небогатую добычу. Он осведомился о моей профессии. Завязался разговор.

– Значит, вы человек ученый и в рыбах толк знаете?

– Да, – сказал я, – строение рыб также было предметом моих научных занятий.

– А скажи, пожалуйста, ученый человек, – он вдруг перешел на "ты", – почему вот эта рыба называется шелешпер, а? Откуда такое название? Ерш – это понятно, он колючий, он ершится, а шелешпер?

Старик посмотрел на меня почти умоляющими слезящимися глазами. Я вспомнил одно место из своей пресловутой повести и, в свою очередь, спросил:

– А вы не Кузьма ли Кучеров, который работал в ближайшем колхозе конюхом?

– Батюшки, да как ты меня признал?.. Чай, из здешних?

– Нет, – ответил я. – Я дальний родственник Петра Николаевича Андреева, и мальчишкой до войны бывал у него на даче.

– Как же, как же, Петр Николаевич! Это, как бы сказать, человек редких кровей, да... Прямо душа-человек! А вот работница у него была, Матвевна, чистый злыдень. Ей слово, а она десять, ей слово, а она десять – прямо божье наказание, а не баба.

– Кажется, вы везли со станции того инженера, который упал в лужу?..

– Ты и это помнишь?! – воскликнул старик и добавил увядшим голосом: – Везто вез, но там одна заковыка вышла. Он, видишь ли, вывалился из телеги и угодил в Пухтинскую лужу. И все видели, как он скрылся под водой – утоп, но никто не видел, как он оттуда выскочил. Он потом догнал моего мерина и рассказывал разные сказки. Тоже, кабудь, ученый, – добавил дед, – но несурьезный человек... Молодо-зелено, – вздохнул дед.

Этот случай, правда, несколько иначе, описан в "моей" повести.

– А что с Орловкой? – спросил я.

– С Орловкой? – Дед подозрительно посмотрел на меня.

– С Орловкой-то... немцы смели начисто в эту войну.

– А раньше с Орловкой не случалось каких-либо историй?

– Чевой-то? – переспросил дед тревожно.

– Ну, каких-либо разговоров не было про странные случаи с Орловкой?

– Да язык он ведь без костей. Если всякий брех слушать... – Дед что-то буркнул и исчез в кустах.

Мне стало ясно, что факты, изложенные в моей повести, действительно не лишены основания. Вспомнилось также, что профессор Андреев, который прежде так активно поддерживал в своем институте работы по созданию искусственной механической почки и сердца, в последние годы, а именно в конце тридцатых годов, круто изменил свои научные изыскания. Он отнюдь не препятствовал этим работам, но его интересы стали ближе к проблемам геронтологии.

"Что же, – думал я, – может быть, действительно опубликовать эту рукопись?.."

ОШИБКА ФИЗИОЛОГА НЮ
(в поезде дальнего следования)

Вторые сутки идет на восток поезд дальнего следования.

За двое суток пассажиры, казалось бы, узнали друг о друге все мельчайшие подробности. Определились привычки, характеры.

Желчный, всем недовольный пожилой доктор непрерывно пикируется с журналистом, похожим на хорошо обритого располневшего медвежонка. Приемы их словесной дуэли изучены до деталей и становятся утомительными. Молчаливый солидный инженер и старающаяся казаться очень взрослой Валечка, начинающий биолог, – вот и все население второго купе поезда Москва–Владивосток. Иногда из соседнего купе заходит Иван Алексеевич. У него, как он объяснил, возникла психологическая несовместимость со своими соседями по купе. Бывает такое.

Дорожная скука прогрессирует быстрыми темпами. Пробуются все новые и новые способы убить время.

Инженер и доктор часами играют в шахматы, и партии неизменно заканчиваются победой доктора. Каждый раз в конце партии доктор принимает высокомерный вид и, иронически поблескивая очками, отпускает нелестные замечания о последних ходах противника, а инженер трет лысину, растерянно озирается и говорит что-то невнятное в свое оправдание.

Таким образом доктор мстит инженеру за свое плохое настроение, за двухдневную скуку. Но все его старания вывести инженера из благодушного состояния оказываются тщетными.

Инженер как-то очень уютно устроился в уголке купе и, скрестив короткие ручки на округлом животике, почти материально излучает умиротворение.

Дело в том, что командировка инженера закончилась на редкость удачно. У него "в кармане", как, не скрывая зависти, говорит доктор, лежат "солидные фонды", и он "добренький" возвращается на свое строительство. А доктору обещали в Москве "во!" (он во все купе разводил руками, даже привставал, чтобы показать внушительные размеры обещаний), а дали "во!" (доктор на пальцах правой руки изображал известную комбинацию).

В который раз в разных вариантах жалуется доктор на свои неудачи в Москве и в который раз драматически задает один и тот же вопрос – почему он, старый болван, не полетел самолетом и теперь столько дней должен "дохнуть" от скуки.

Виктор Николаевич – так звали доктора – все это говорил с таким раздражением и с таким недовольным видом осматривал купе и своих спутников, что все невольно чувствовали себя в какой-то мере виноватыми в его злоключениях, во всяком случае в том, что ему скучно в этом купе, в этой компании, что они, спутники, в чем-то оказались не на высоте. Росло и скрытое чувство протеста, возмущение бесцеремонностью доктора. И вот в интригующей фразе звучит нарочито деланно проникновенный баритон журналиста:

– Доктор, вы ничего не понимаете в природе скуки. Поехав поездом, вы, наоборот, просто спасли себя от скуки!

Доктор, ожидая каверзы, изображает собачью стойку.

– Я только приведу высказывание знаменитого Делакруа. 27 августа 1854 го-

да, – начал менторским тоном журналист, – Делакруа записал в своем дневнике (Слушайте! Слушайте!): "Когда люди достигнут наконец того, что пассажиры (т.е. вы, Виктор Николаевич), удобно разместившись в жерле пушки, будут затем вылетать из нее со скоростью пули по всевозможным направлениям, тогда будет признано, что цивилизация далеко шагнула вперед.

Мы приближаемся к этому счастливому времени, которое упразднит пространство, но не сможет (Слушайте, слушайте!!!) упразднить скуку, так как необходимость заполнить время будет все возрастать в связи с тем, что различные передвижения и переезды уже не будут занимать так много времени". Видите, доктор, по Делакруа, получается, что вы не правы!

С нарочито наивным видом журналист внимательно перелистывает страницы толстого тома.

– Делакруа – это, наверно, тоже журналист какой-нибудь, – парирует доктор нападение.

– Как не стыдно, Виктор Николаевич, – укоряет Валя, – это ведь один из последних гениальных художников-романтиков.

– Я и говорю, – огрызается доктор, – не то журналист, не то этот самый... как его... романтик. Впрочем, я, кажется, видел одну его картину – недорисованную лошадь. Сразу видно – романтик. Таких лошадей не бывает. И они, как змеи, не извиваются. Уж поверьте мне, старому ветеринару.

– И скучный же вы дядя, Виктор Николаевич, – к концу вторых суток не выдержала Валя. – Наверняка и мечтать-то не умеете.

– Мечтать? – Доктор пожал плечами. – А о чем же, позвольте спросить, вам так интересно мечтается?

– Разве не интересно мечтать о том, какими станут люди в будущем, через тысячу, сто тысяч лет?..

– Мерзавцами были, мерзавцами и останутся. Уж поверьте мне...

– Старому ветеринару... – в тон доктору заканчивает Валя.

– А разве не интересно мечтать о том, какими окажутся мыслящие существа других миров?

Валя вопросительно посмотрела на доктора.

Доктор долго задумчиво крутил папиросу и ответил серьезно:

– Да, интересно. Но, думаю, встреча может быть неприятной.

– Высокая, более высокая культура разумных существ, что же тут... – Резкая остановка вагона оборвала Валину фразу.

– Видите, Валя, эти разумные существа могут предстать в отвратительном физическом образе. Взгляните в окно, перед нашим вагоном, великолепный экземпляр организованной материи.

Валя недоуменно посмотрела на "экземпляр", состоящий из пышных усов и двух больших чемоданов.

– Не то, не то. Я имею в виду попросту птицу, вон ту птицу. Не знаю, как она у вас называется в орнитологии, в быту, она речется индюком. Он великолепен, не правда ли?

Индюк будто почувствовал, что стал предметом серьезного разговора, расправил хвост и что-то закричал, возможно, по-своему очень содержательное; крас-

новато-фиолетовые украшения пузырились, воплощая подлинно индюшачью важность.

– Вот представьте, Валя, на какой-то планете вы встретитесь с подобной "мыслящей материей", и эта материя в вас влюбится, начнет предлагать, скажем, крыло и сердце...

Валя внимательно провожала глазами индюка, будто первый раз в жизни видит это странное существо.

– А представьте себе эту "мыслящую материю" в форме осьминога. Он посматривает на вас своими глазками, крутит щупальцами, говорит любезности. Кажется Леонардо да Винчи в качестве моделей для своих страшилищ зарисовывал комбинации отвратительных насекомых. Вы, биологи, рассматриваете в микроскоп всякую живую мелочь. Мысленно увеличивая размеры разнообразных видов живых организмов до человеческих, легко понять, что возможны, очень вероятны мыслящие существа достаточно неприятного вида, но в цилиндре, при галстуке и перчатках. А ведь может быть и хуже... Действительность всегда неожиданнее фантазии.

– Не верю, не верю, не запугаете! Хочется думать, что разумные существа на других планетах совершеннее и приятнее нас. – Упрямо метались Валины кудряшки.

– Разумные существа и на нашей планете, Валечка, – вставил журналист, – очень разнообразны.

Это разнообразие он пытался иллюстрировать сложным движением руки, но от этого его мысль не становилась понятнее.

– Любопытно, – продолжал развивать свою мысль журналист, – что разнообразие вещей, которые нас окружают, повторяет разнообразие характеров и типов людей. – Возьмите деревья: есть мужественные деревья, есть женственные. Встречаются деревья, похожие на юных девушек, – деревья-невесты. Или цветы... Даже грибы... Каждому человеку можно подыскать гриб, довольно точно передающий наиболее характерные черты его типа. Человечество и, так сказать, "грибачество" в известном смысле адекватны, между ними есть какое-то соответствие.

Доктору не понравилось слово "грибачество", и он уклонился в скучные дебри лингвистических изысканий, которым активно мешала Валя. Вале не терпелось узнать, какой гриб предназначен природой персонально ей.

– Вы, Валя, молодой подберезовик с бледно-коричневой шляпкой в серенькой блузке в крапинку, – сказал журналист.

– А доктор – старый гриб-боровик!

– Боровик, Валя, это хорошо, – согласился доктор, – старый... – доктор поморщился.

– Валечка, вы ошиблись, доктор – это ядовитый мухомор, который притворяется боровиком.

– Вы, журналист, груздь, – огрызнулся доктор, – дебелый груздь. Полезайте в кузов или на свою верхнюю полку.

– А кто же инженер, Алексей Никанорович?

Доктор оценивающе посмотрел на инженера и решительно заключил:

– Инженер – это совершеннейший рыжик. Очень хорош для соления.

– Вот и все наше "грибачество", – подвела итог Валя.

– А что дальше?.. Еще восемь суток…

Все вслед за доктором недовольно посмотрели в окно на бегущие перелески мелкого осинника, как будто все восемь оставшихся суток находятся за окном и в очень неприглядном виде. Было слышно, как доктор раздраженно выстукивает пальцами по столику барабанную дробь.

– Дальше, – продолжала Валя, – инженер будет неудачно играть с доктором в шахматы, журналист неудачно острить, и все мы, неудачно попавшие в одно купе, будем продолжать томительно скучать.

Никто не ответил на Валину сентенцию. Инженер, громыхая шахматными фигурами, уже расставлял их на доске. Доктор с барственным видом, скрестив руки на груди, снисходительно следил за деятельностью инженера. Сама собой возникла обязанность – расставляет шахматы проигравший, и инженер проходит через это унижение с какой-то грустно-упрямой поспешностью.

– Знаете, – неуверенно предложила Валя, – есть одно нескончаемое занятие, одна игра, игра эта в свое время нас очень забавляла…

– В свое время нас забавляли многие игры, – не меняя барственной позы, философски изрек доктор, но, взглянув на почти взрослое выражение Валиного лица, заметно смягчился.

– Давайте, – предложила Валя, – сочинять, будем продолжать по очереди какой-нибудь фантастический роман, о марсианах, о людях… какими они будут через тысячелетия… Пусть это будет бред, не всегда логичный, но это занятно… уверяю… – уговаривала Валя спутников.

– Итак, – сказал доктор, – вы предлагаете взвыть от скуки романом? Что же, не исключено, что все романы написаны со скуки, – доктор по привычке задирал журналиста. Журналист решил не замечать брошенной перчатки.

– Ну что же, Валечка, – сказал журналист, – ваша инициатива, начинайте ваш бред, да поинтереснее.

Инженер еще уютнее устроился в своем уголке и тоже приготовился слушать, заранее одобряя рассказчика: "Что же, отчего же не послушать, – в сладкой добродушной истоме таял инженер. – Все очень хорошо, все очень хорошие…"

ДЕНЬ ПЕРВЫЙ

«Сегодня 15 сентября 1930 года… началось это тоже 15 сентября… Три года назад. Сережка Авдеев нехотя шел в школу. Словно существовала какая-то сила, которая упорно отталкивала его от четырехэтажного дома на Сивцевом Вражке.

Вместо того чтобы идти ближайшим путем, то есть завернуть Гагаринским переулком, Сережка двигался наидлиннейшей дорогой через Гоголевский бульвар. Настроение неважное. Вчерашний фантастический фильм помешал приготовить уроки, и теперь предстоит встреча отнюдь не с марсианами, а прежде всего с Иваном Ивановичем, а потом…

"Конечно, – думал Сережка, – можно идти очень, очень медленно, но все равно в конце концов придешь… Можно немного задержаться, наблюдая за быстрыми



щетками чистильщика сапог. Длинные остроносые ботинки какого-то невиданного фасона. Видимо, иностранец. Конечно, иностранец: черный на пурпурной подкладке плащ-накидка до пят".

Ветер распахнул плащ, и тут Сережка от неожиданности больно прикусил язык: под плащом никакой фигуры не было.

Две черные тонкие металлические трубки, выходящие из щегольских ботинок, соединялись выше в одну, потолще, и все. А дальше шла типичная платяная вешалка, на которой кокетливо висел плащ.

Сережка также заметил, что высокий воротничок плаща скрывал не шею, а металлический стержень, на котором держалась голова в черном цилиндре денди прошлого столетия.

По-настоящему Сережка струхнул, когда обнаружил, что у "иностранца" не было лица. Вместо человеческой физиономии из-под полей цилиндра выглядывал пластмассовый шар.

"Иностранец", видимо, заметил интерес Сережки и вежливо приподнял цилиндр, из-под которого метнулись два длинных ослиных уха. Пока руки Сережки механически тянулись в ответном жесте к фуражке, "иностранец" на глазах менял свою форму и превращался в Ивана Ивановича Верейского, преподавателя биологии.

Иван Иванович неодобрительно покачал головой:

– Пора бы того... – сказал классный руководитель в своей обычной манере, – пора бы того... Авдеев, быть в школе.

– Я того... – неожиданно для себя произнес Сережка, – я сейчас.

Хотя Иван Иванович не добавил больше ни слова и пошел, не обернувшись, дальше, все же по тому, как топорщился его дождевик, было ясно, что прощения нет».

– У меня все, – закончила Валя, – продолжайте.

– Да-а, завернуто... – процедил сквозь зубы доктор.

– Ну что же, поехали дальше. Вам, Иван Алексеевич, карты в руки. Вы педагог, а здесь начинается какая-то педагогическая поэма. Поехали.

Иван Алексеевич, пассажир из соседнего купе, аккуратненький, невзрачный человечек, пожевав тонкими губами, тихим голоском заговорил:

«Это было не совсем так. И случилось не в Москве, а в одном из захолустных районных центров Воронежской области и именно в той школе, где я преподаю литературу. Я хорошо знал Ивана Ивановича и в какой-то мере был очевидцем странной истории.

Дежурный по школе, я медленно бреду коридорами. За застекленной стеной класс Ивана Ивановича. Сегодня урок что-то не ладится. Это видно.

Сентябрьский ветер стучится в окна школы жидкими ветвями чахлой липы. Сучья царапают стекла, а влетавшие в форточку листья долго, как бабочки, кружатся по классу.

Сегодня урок не удается: все занимаются своим делом.

Одни, скучая, наблюдают, как медленно кружатся листья по комнате, другие осторожно читают книжку, а целая группа ребят переписывается каким-то за-

мысловатым шифром. Крючки, хвостики, черточки передают тайны глубокой важности.

На задних партах плетутся интриги. Кому-то за что-то хотят "набить морду", кто-то "зазнается".

Десяток ребят витиевато объясняются голубоглазой Люсе в пылкой любви.

Иван Иванович "тянет" Авдеева к доске. Вот этого-то Сережка не ожидал. Его давно подмывало рассказать ребятам сегодняшнюю историю с учителем, но он чувствовал всю безнадежность этой попытки: ребята не поверят.

Сережка только что убедил соседа, что это лето он провел на Цне. Впрочем, это обстоятельство не оспаривалось противником, но утверждение, будто он сам построил лодку, на которой можно взаправду кататься, ловить рыбу и ехать по Цне до Оки, вызывало у соседа недоверчивую улыбку. Нехорошую улыбку. Ужасную улыбку.

Особенно злили Авдеева не улыбка, а уши и голова, так ехидно уходящие в плечи.

– Лодка ерунда, – примирительно шептал Сережка, – ее всякий дурак может сделать. Я про лодку не говорю, я говорю про…

Только Сережка хотел совершить тактический маневр в затянувшемся споре с соседом, тут-то Иван Иванович попросил его рассказать о семействе зонтичных. Авдеев знал, что такое семейство существует, но он думал о лодке.

Все ждали, что Иван Иванович разведет руками, потом снимет пенсне и, протирая его платком, повернется вместе со стулом к Авдееву и строго скажет: "Что же вы, Авдеев… не заглянули в учебник… А?"

Но Иван Иванович не снял пенсне, не повернулся со стулом, а изобразил на лице чрезвычайное удивление и стал тревожно прислушиваться.

Все испытующе смотрели на учителя, а учитель все сидел, молчал и удивлялся.

Уж много листьев влетело в форточку. Ветер добавил к ним клочок розовой бумаги, и только тогда прозвенел звонок.

Иван Иванович не положил журнал, как обычно, в портфель, а взял его со стола за угол и тяжело пошел в учительскую...

В среду вечером, когда солнце только что скрылось за стеной огромного соседнего дома и низкая школа поплыла в дрожащих сумерках, школьники узнали, что Иван Иванович умер.

Ребята осторожно двигались по темным коридорам, шептались и смотрели друг на друга удивленными, широко раскрытыми глазами.

В сумраке казалось, что в мире происходит что-то таинственное, вещи становятся похожими на тени, наполняются тревожной, непонятной жизнью.

Юра, староста класса, решил пойти к директору, проверить слухи и вообще, как он говорил, подражая Ивану Ивановичу, "уточнить ситуацию".

Проходя мимо зала, Юра повернул выключатель, и все кругом изменилось, стало обыкновенным и спокойным, как всегда.

В уголке "Безбожника" плешивый веселый бог отплясывает гопака, а у противоположной стены, как всегда, неубранная сцена, с остатками декораций, обрывками проводов. Конечно, все по-старому, ничего не изменилось. И мысль о том, что Иван Иванович мог умереть, показалась просто нелепой. Может, не ходить?

Юра еще раз посмотрел на сцену и решил окончательно: Петьке Кошек роли больше не давать. В самом деле, Петька играл роль банкира и, как положено, посещал все репетиции. Но вдруг на генеральной ни с того, ни с сего отказался и заявил, что хочет убивать графа, играть роль кузнеца. Очень подло с его стороны. Ну, а если действительно хочешь убивать графа, скажи с самого начала и убивай, пожалуйста...

Да, все по-старому. Ничего не изменилось. Иван Иванович умереть просто не мог – это нелепо.

Но как же с планом похоронной кампании, который сам собой сложился в голове, пока Юра шел коридорами: командующим колонной первых классов назначался Колька Морозов, старшим – Ванька Додыкин, общее руководство... А теперь все это рушится... Юра недовольно постучал в дверь директорского кабинета.

Педагоги вспоминали, что у Ивана Ивановича было нехорошее сердце. Нехорошее сердце – что же тут хорошего. У Алексея Матвеевича тоже нехорошее сердце, шепотом говорили педагоги, а какая разница. Алексей Матвеевич своим сердцем извел весь коллектив. Он пессимист и жалуется целыми днями. Заставляет своих коллег слушать перебои в сердце, и они должны прикладывать ухо к его груди, сокрушенно качать головой: "М-да, сердце... того..."

Характер у Ивана Ивановича совсем другой. Конечно, он знал, что его сердце с какими-то отклонениями и особенностями, но так же, как знают, например, что есть где-то остров Мадагаскар, населяют его не то черные, не то желтые, и растут там не то пальмы, не то еще что-то в этом роде, и этот Мадагаскар такой далекий, может быть, даже его и нет совсем.

Вот жил человек, жил тихо, спокойно, казалось, и нечем вспомнить, а умер, и многое вспомнилось. Выяснилось, какими многими достоинствами обладал Иван Иванович».

Иван Алексеевич умолк, приглашая соседей продолжать рассказ.

– Знаете, заметно, что вы преподаете литературу, – с видом прокурора комментировал доктор, – следуете литературным образцам девятнадцатого столетия: немного растянуто, книжно, но в общем...

– В общем... ты, чужестранец, нахал! – комментирует журналист комментатора. – Иван Алексеевич, продолжайте лучше вы сами, вы ведь хорошо знали Ивана Ивановича. Вам легче, чем кому-либо, его похоронить.

И Иван Алексеевич стал рассказывать дальше.

«За гробом идет вдова Ивана Ивановича, Юлия Александровна. Ее ведут под руки знакомые учительницы. Она держалась бы бодрее, если бы подруги не так усердно тискали ее из стороны в сторону, помогая справиться с ее расстроенной походкой. Юлия Александровна качалась от подруги к подруге, пока не устала и буквально не повисла на их руках. До ее сознания еще не дошло все случившееся: где-то в глубине остается неуверенность в реальности всего происшедшего. Она печальна, скорее, на всякий случай: а вдруг Иван Иванович на самом деле умер... Только все кругом стало как-то неестественно, бутафорно. Вот подымаются ноги

у лошади, но легко, без напряжения, будто лошадь не имеет к этому никакого отношения. И колеса похоронной кареты крутятся тоже сами. И дома какие-то неестественные, слегка искривляются, тихо струятся – подойти, ткнуть пальцем, и они закачаются и исчезнут...

За Юлией Александровной идет директор с новым обществоведом. Директор хочет выяснить, как он говорил, "физиономию нового человека" и потому решил пойти рядом с ним.

Директор сильно хромает на правую ногу, странно наклоняясь на бок, как будто собирается сообщить что-то важное на ухо соседу. Когда же сосед инстинктивно поворачивает голову, приготовившись слушать, директор мгновенно отшатывается в сторону, сильно озадачивая непривычного собеседника. К тому же на худощавом лице директора будто натянута какая-то непроницаемая маска: ни за что нельзя узнать, доволен он или не доволен, согласен или не согласен, зол или весел, наконец, умен или глуп. И какая-то непроницаемость, которой "много известно", и, будьте уверены, "со временем примутся надлежащие меры". За эту непроницаемость педагоги не любили директора, даже боялись его.

Обществовед уже раза три делал внимательное лицо, значительно сжимал губы, давая понять, что каждое слово будет им услышано и принято к сведению, а директор все молчал и качался, как маятник.

Обществовед, наконец, стал недоволен собой... "Скажут... ищу близкого знакомства... подлизываюсь к начальству..." За слово "подлизываюсь" даже обиделся, на его лице появилась тень сожаления – для того, кто это скажет. В то время как появилась эта самая тень, директор буркнул что-то у самого уха. Но пока тень сошла, пока обществовед пережил все моменты от легкого испуга до едва заметного чувства вины, голова директора покачивалась уже на другой стороне тротуара.

– Необходимо самым решительным образом, – строго говорил директор, отчеканивая каждое слово энергичным движением палки. – Самым решительным, – повторил он. – Самым, самым...

Начав говорить, директор не подумал о конце фразы и теперь испытывал затруднения.

– Необходимо самым решительным образом... – напомнил обществовед.

– Да, да!.. – резко отчеканил директор и, внезапно перестав хромать, быстрым и крупным шагом перешел на левый фланг процессии.

Этот маневр директор проделал решительно, торжественно и остался доволен собой: в трудную минуту все-таки не ударил лицом в грязь, нашелся. Директор даже остановился и погладил носком ботинка круглый булыжник. Но в этот момент до его сознания дошло, что нелепое это занятие – стоять посредине улицы и водить ногой по булыжнику. Кто знает, что могут подумать. Покосился на литератора. Директор подозревал, что литератор – насмешник. Вдруг литератор подойдет и скептически скажет: "А хорошо ли это?"

К счастью, литератор ничего не видел.

Тогда директор энергичнее еще раз поводил носком ботинка по булыжнику, давая этим знать, что и в первый раз он совсем не по неловкости, а, как и теперь, делал это сознательно и с полным самообладанием. И вообще, значит, так

нужно. И вообще он знает, что делает. Теперь директор строго посмотрел на литератора.

Тут подошла еще одна процессия. И произошло событие, которое взволновало директора. Лошадь из другой процессии хладнокровно жевала венок из живых цветов, который так торжественно возложил директор на гроб Ивана Ивановича. За широким бантом тянулась до земли лента, и всякий мог прочитать, что именно этот венок возложил директор.

Хуже того, когда директор бросился отнимать венок, лошадь взвилась на дыбы, а директор на глазах у всех остался стоять в нелепой позе с вытянутыми вверх руками. Лишь после упорной борьбы в руках директора оказалась часть, правда, большая, великолепного венка. Лошадь со вкусом дожевывала свою половину, а одна из лучших астр кокетливо торчала в ее зубах.

Но этим дело не кончилось: директор опять не мог решить, что делать. Снова возложить на гроб остатки лошадиного завтрака неудобно. Как долго их держать в руках?.. Вот всегда так, всю жизнь, ни минуты покоя. Все непринужденно разговаривают, и только он, директор, стоит один, угрюмый, замкнутый. Получается, коллектив не принимает его в свою среду. А разве он не старается для школы, разве не честно работает? Почему такая несправедливость?..

Обиженный, директор отошел в сторону, незаметно положил цветы между двумя большими камнями, безразлично постучал по камням палкой, но лишь тогда с облегчением вздохнул, когда подальше отошел от этого места.

Вскоре все сгрудились у свежевырытой могилы, и процессия потеряла свою торжественность.

"Вот кто знает, – мучился директор, – когда надо говорить надгробные слова: после того как гроб опустят в могилу или до этого... другой раз буду опытнее..."

Директору стали рисоваться какие-то другие похороны, где он, директор, без всяких колебаний и в самый нужный момент говорит замечательную речь.

Но все-таки, надо же теперь-то как-нибудь выходить из положения. Еще чего доброго педагоги подумают, что у него нет умения, нет инициативы, нет организаторских талантов. Вот этот литератор, видно по глазам, издевается над затруднениями директора. Директор почти слышит, как губы литератора шепчут привычное, наивно скептическое: "А хорошо ли это?"

Директор никак не может уловить подходящий момент: или перетаскивают гроб с места на место, или еще что-то происходит, наконец слегка замешкались, наступила пауза, ею и решил воспользоваться директор.

– Товарищи! – начал он, низко наклонив голову, – сегодня мы хороним нашего соратника. – Директор переступил на другую ногу, воткнул трость в кучу рыхлого влажного песка, повторил слово "соратника". – Иван Иванович не был человеком больших дел, всегда скромный, незаметный, он делал нужное дело... (нехорошо: дел, делал, дело – три дела подряд), – скосил глаза на литератора и неожиданно добавил: – нужное дело... да. Он весь отдавался ("отдавался", это, думает директор, хорошо сказано) каждому новому начинанию в педагогике, и не его вина, и не вина директора...

Когда до ушей директора донеслась фраза, сказанная им же, он закончил речь испуганной скороговоркой: "Спи спокойно, дорогой товарищ!.."

Все посмотрели на гроб и были чрезвычайно смущены: гроб оказался пустым. На самом дне слегка сдернутая марля обнажала обыкновенные древесные стружки, такие свежие, мягкие, – даже возникла странная уверенность, будто так все и было. Но когда стали рассуждать, задавать вопросы, положение усложнилось очень быстро, и через минуту все просто растерялись.

К тому же не знали, что делать с гробом: факельщик наотрез отказался вести его обратно. Директор хмуро и неуверенно твердил, что гроб совершенно новый, но представитель похоронного бюро стоял на своем, резонно утверждая, что так никто не делает.

Посыпалось много предложений. Но вдруг директор решительно приказал: "Закрыть гроб!" – и все с облегчением вздохнули.

Между лопухов насыпали маленький бугорок земли. Откуда-то появившаяся большая рыжая собака на виду у всех хотела тут же сделать неприличное дело, но этому умело помешал директор. Директор почувствовал себя героем: в эти критические минуту, в минуты всеобщей растерянности, он оказался на высоте положения.

Неудачные похороны долго обсуждались жителями городка, но никто не мог найти разумного объяснения случившемуся. Только биолог Евгений Семенович утверждал, что давно заметил что-то неладное, но не мог объяснить что именно. К тому же он приплел сюда какого-то иностранца в черной накидке, который будто бы появился в момент исчезновения покойника, и будто бы этот таинственный иностранец уходил за ограду походкой Ивана Ивановича. Впрочем, об иностранце порол какую-то чушь и Сережка Авдеев, а тетя Мотя, дворничиха, уверяла, что будто встретилась с ним в гастрономическом магазине, где он покупал целый килограмм любительской колбасы и банку горчицы.

Вскоре более важные события отвлекли внимание даже самых любопытных жителей городка от этого загадочного происшествия».

Доктор уже несколько раз смотрел на свои часы-луковку и наконец продекламировал:

– Тут Шахразаду застала ночь, и она прекратила дозволенные речи. Спать, спать, первый час. – Доктор решительно стал стелить постель.

Пассажиру из соседнего купе пожелали спокойной ночи.

Хотя все быстро улеглись по своим полкам, спать не хотелось, и еще долго вспыхивала и затухала беседа, перебрасывались замечаниями, комментировали удачные и слабые места первой главы коллективной новеллы.

ДЕНЬ ВТОРОЙ

После ужина, когда "коллективный автор", как говорится в таких случаях, был в сборе, журналист продолжил рассказ.

«Василий, сторож дачного профессорского поселка Орловки, возвращаясь ночью домой, поселка не нашел. Надо было только пройти по шоссе, повернуть у сторожки, и Орловка – как на ладони.

Сторож прошел поворот, но Орловки как не бывало!

Шел Василий из Пухтино. Вышли от Алексея вместе с Иваном, плотником. У Алексея справлялись именины. Вот Иван действительно мог не найти Орловки. Пришлось до самого перехода через Гнилую Балку вести его под руку. Но странная история приключилась именно с Василием.

Последнюю неделю все дни, как тряпки, с утра до вечера стирались дождями. Небо белело, желтело, серело, чернело. Все это с разных сторон надвигалось и, как только подымалось над головой, спешило лить вниз, словно назло, всякую ерунду, а потом раздиралось в клочья и исчезло за горизонтом. Даже самая маленькая тщедушная тучка, ее бы в обычное время никто не заметил, и та считала своей обязанностью задумчиво постоять над головой и хоть чуть-чуть побрызгаться.

Сыро, скользко, ноги разъезжаются. Василий все хорошо помнит, все решительно. Он вышел на опушку леса, совсем рядом с шоссе, и сел на пенек отдохнуть. Небо затянуло облаками, и темь стала такая непроглядная, что сторож по ошибке принял козла Митрича за своего хорошего знакомого Максима Афанасьевича, заведующего продуктовым ларьком в Пухтино. Попрощавшись с "Афанасьевичем", Василий вскоре вышел на шоссе. Оставалось только пройти поворот, и Орловка – как на ладони. Сторож прошел поворот, но Орловки не было.

Первым долгом надо было увидеть Акимовскую дачу, затем Полянского. Потом пойдет дача Петра Николаевича, совсем рядом – сторожка Василия, а дальше опять лес.

Луна выскочила из-за облаков. Видно, что сторожка действительно стоит на своем месте, и дальше тот же лес, но дачного поселка – как не бывало.

Василий снял кепку, почесал затылок, снова осмотрелся.

– Нет, что-то здесь не то... – заключил он, покачал головой и отправился спать в сторожку.

Колхозный сапожник Тихон с утра прибежал в Алтухинское отделение милиции. Начальника еще не было, один милиционер Антип, зевая, ходил по коридору.

–Что так рано, не спится, что ли, дядя Тихон?

– Не твоего ума дело, – отрезал Тихон и сел на скамейку, прямой и важный.

Антип с удивлением посмотрел на Тихона: важность не в характере смешливого и общительного сапожника.

Как только появился начальник, Тихон проскочил к нему в кабинет. Начальник снимал шинель, фуражку, рассматривал на столе какие-то бумаги, а Тихон никак не мог начать разговор. Дело, как понимал Тихон, очень важное, необыкновенное, а слова попадались какие-то совсем не подходящие.

– Ты что, дядя Тихон? – наконец не выдержал начальник.

– Ну и дела... Я к тебе, Платон Николаевич, по важнейшему делу. Да! Ну и дела...

– Да скажи ты толком.

– Ну и дела... Орловка-то... тю-тю...

– Что значит "тю-тю" – недоуменно спросил начальник.

– Тю-тю, нету... – пояснил Тихон.

– Что, неужто сгорела?

– Хуже, совсем нету, такие дела...

– Ну, скажи ты, дядя Тихон, толком, с самого начала.

– А поначалу дело было так, – приступил к рассказу дядя Тихон. – Вчера вечером поругался я с женой.

– Надеюсь, не бил?

– Ни-ни, ни боже мой.

– Смотри, дядя Тихон, поступит еще жалоба, будет тебе плохо.

– Ни-ни, ни боже мой, воздержусь, хотя не баба, а божье наказание, руки так и чешутся, право слово... Так бы и... Воздержусь, да. И пошел я под вечер в Орловку, к сторожу Василию. Подхожу, к сторожке, глазам своим не верю. Вся Орловка как есть, все пять дач с участками поднимаются на воздух, без звука, заметь, Николаич, без звука пролетают над головой, и все ис-чеза-ить...

Тихон закрыл глаза и замер. После внушительной паузы продолжил:

– А до этого утром, заметь, здесь расхаживал какой-то подозрительный, из актеров, что ли, в плаще, до пят, на красной подкладке. Вот тут и соображай! Чуешь, Николаич?

Дядя Тихон остолбенел: его рассказ на начальника не произвел никакого впечатления. Более того, начальник со скучным видом продолжал разбирать какие-то бумаги и между прочим заметил:

– Ты мне что, сказки пришел рассказывать? Лучше расскажи, как гнилые головки на сапоги Федора поставил.

Дядя Тихон шел в милицию, чувствуя себя героем, – не растерялся, не испугался... А тут старое вспомнил, "гнилые головки..."

– Тада-то чего же... – обиженно вздохнул дядя Тихон и не спеша вышел из кабинета.

Дядя Тихон известен был по всему району как разносчик всяких небылиц, и его рассказ не произвел впечатления на начальника милиции, но когда зашел рассудительный Матвеич и сказал, что свояченица, возвращаясь из Алухино мимо Орловки, видела, что на месте поселка – чистая площадка, на душе стало неспокойно. И совсем растерялся начальник после звонка председателя уездного совета, который как бы между прочим спросил:

– Что у тебя там с Орловкой?

– С Орловкой? А что?

– Да тут сигнал есть... – уклончиво сказал председатель. – Пошли человека, пусть на месте выяснит, как и что, – послышалось в трубке.

Платон Николаевич вызвал милиционера Антипа, кратко, но невразумительно обрисовал положение, приказал немедленно выехать в Орловку и выяснить, на месте, как и что.

Антип ушел, но в этот день начальнику милиции не давали покоя: то один, то другой заходил в кабинет, пытаясь узнать, что же произошло в Орловке.

– Послан человек, – уклончиво отвечал начальник, – придет человек, скажет.

В коридоре толпился народ, и когда шум, доносившийся из коридора, сильно возрастал, тогда было слышно, как вмешивался голос степенного старика Матвеича.

– Послан человек, – говорил он, – послан, придет человек, скажет.

Когда Антип вошел в сторожку, Василий спал прямо на полу, подстелив тулуп.

– Что, сторож, просторожил Орловку, – сказал Антип сонному Василию.

– Ты это что? – недоумевал Василий, протирая глаза.

– А ты посмотри в окно, Орловки-то нету.

Василий нехотя взглянул в окно, затем быстро подскочил к раме.

– Значит, правда, – сказал он, – а я думал, приснилось.

– Что правда, ты про что? – оживился Антип.

Но Василий ничего больше добавить не мог, он только вспомнил, что четыре дачи были совершенно пустыми (на дворе ведь вторая половина сентября, и погоды, сам знаешь, какие). А вот на даче Петра Николаевича вчера вечером горел свет. Днем он видел, как проехали лошади Петра Николаевича с людьми. Мимо сторожки проходили Маша – племянница Петра Николаевича и его ассистент по институту Юра, хвастались корзиной, полной опят... Вот и все, что узнал Антип. Как любил говорить начальник, шубы из этого не сошьешь.

– Эх, Василий, черт тебя дернул пойти вчера на именины.

– Ну, что, я один мог против этого... – зевая, вяло возражал Василий.

Антип вспомнил начальника: "Выяснить на месте, как и что, и пресечь в корне".

– Не понимаю, – озлился Антип на Василия, – в каком ты сейчас образе?

– А что?

– А что! Ты как будто, с одной стороны, сторож и как будто теперь и нету.

– Это пусть начальство разбирает, кто я есть. Наше дело телячье...

– Деньги за что ты будешь получать?

– Это пусть начальство разбирается, – упрямо твердил Василий и все больше мрачнел.

Антип молча внимательно осмотрел Василия.

– Ты что это? – не выдержал молчанку Василий.

– Да так... заржавел ты, Каин... А ведь пяти лет не прошло.

Василий понимал, что Антип вспоминает девятнадцатый, двадцатый и двадцать первый годы... Было что вспомнить и ранее.

"Каин" – такое прозвище с детства прилипло к Василию. Вместе с Антипом ходили еще в церковно-приходскую школу, сидели за одной партой.

Запоминаются эти картины детства.

А с Каином вышло такое дело. Урок закона Божьего вел священник отец Сергий. Большая светлая комната церковно-приходского училища с трех сторон заставлена партами трех классов: батюшка ведет с ними занятия одновременно. Один класс решает задачи по арифметике, другой упражняется в чистописании, а в третьем речь идет о Ветхом Завете. Две стены комнаты аккуратно украшают иллюстрации к различным библейским событиям размером в лист ученической тетради. Ко многим из картин трудно добраться: забаррикадированы партами. А вот сцена преступления Каина оказалась в доступном пространстве. Батюшка мог не только указать на нее, но и дотронуться до нее пальцем.

– Житенев Вася, расскажи, за что Каин убил Авеля?

Задав вопрос, батюшка сжимает в кулак свою длинную жидкую бороду, склонив голову на бок в ожидании ответа.

– Не знаю, батюшка, – робко шепчет Василий. – Вот вчера наш сосед дядя Федор пырнул ножом дядю Николая... – вслух размышляет Вася, переминаясь с ноги на ногу и низко опустив голову.

Новость явно заинтересовывает батюшку. Он отпускает бороду и, приглаживая редкие волосы на макушке, подходит ближе к Васе.

– Ножом, говоришь? – переспрашивает батюшка.

– Ножом, батюшка. Сапожным, острым, страсть! – уже громче поясняет Вася, – сапожник... ка-ак дасть!..

– Куда же он его, – допытывается батюшка.

– Ка-будь подвздох!

– Куда?

– Подвздох, вот в это самое место.

– За что же он его? – недоумевает батюшка.

– По пьяному делу. – Видимо, кому-то подражая, солидно, почти басом Василий поясняет: – Сперва ничего, пили самогон. Ладно... Потом пришла тетя Маша и ну ругаться: "Пьяницы, – говорит, – обормоты". А тетя Мотя – Федорова жена, обиделась и тоже стала ругаться... Вот... назвала ее затервой... вот...

– Стервой, – подсказывают с задних рядов.

– Затервой, – упрямо повторяет Василий. – А потом бабы вцепились друг другу в волосы, вот... Дядя Федор и дядя Николай ну их разнимать!.. А потом тоже подрались... вот... Тут дядя Федор как схватит сапожный нож... ка-ак дасть ножом!..

В наступившей длительной паузе батюшка, видимо, размышляет по поводу этого события. Он неодобрительно качает головой и возвращается к уроку.

– Но за что же Каин убил Авеля? – механически повторяет вопрос батюшка, видимо, даже не ожидая ответа.

– Может, тоже по пьяному делу? – по-взрослому неожиданно заключает Василий.

Тут звонок древнего Захара, сторожа, инвалида какой-то давней войны прерывает урок. Батюшка, вспомнив что-то неотложное, быстро направляется к выходу. Он только успевает погрозить пальцем в ответ на предположение Василия, но потом все же успел нажаловаться Игнату, Васиному отцу.

Игнат вечером, еле держась на ногах, ждал Василия, чтоб учинить расправу. Правду говоря, из слов батюшки он не очень понял, в чем провинился Васька, но слово "Каин" твердо закрепилось в памяти. Расправа шла перед избой в палисаднике, на виду у соседей. Отец бил шпандырем, приговаривая: "Ишь, какой Каин нашелся... Я тебе покажу Каина"... а Васька голосил на всю улицу и слезно обещал, что больше не будет...

Вспоминали девятнадцатый, двадцатый годы...

Не было в ЧОНе лучшего разведчика и бойца, чем семнадцатилетний Васька-Каин. Многое вспоминалось в это хмурое раннее сентябрьское утро.

Иногда воспоминания прерывались молчанием.

В это время Антип или Василий произносили только значительное "н-да". Значительное потому, что мысли каждого из них (они это понимали) возвращались к непонятному случаю с Орловкой.

Вышли из сторожки. Потеплело по-летнему. Но Орловки словно как и не бывало.

Тут Антип вспомнил про жалобу Митрича на Василия: будто рано утром Василий увел его козла. Козел этот действительно исчез, а жена сапожника Тихона клялась, что в утренних сумерках видела Василия и что за Василием бежал козел "кажись, на веревочке".

Василий божился, что никакого козла он не видел, что шли они домой вместе с Иваном-плотником, а потом около самой сторожки встретил Максима Афанасьевича – заведующего продуктовым ларьком в Пухтино (можешь спросить). До самой сторожки он слышал, как за ним шел Максим Афанасьевич, цокая по асфальту коваными сапогами (можешь спросить).

Последние слова насторожили Антипа – всю ночь он с Максимом Афанасьевичем проиграл в домино... "Чего-то Василий врет... выкручивается. Дело, видимо, нечисто..."

В субботу колхозный кучер Кузьма запрягал лошадь. Председатель сказал, что надо привезти специалиста по "орловскому делу", то ли инженера, то ли геолога. Дожди так испортили дорогу, что послать разбитую колхозную легковую не было возможности.

– Вот, – говорил обычно молчаливый Кузьма колхозным шоферам, толкавшимся во дворе, – ваша техника отказала, поклонились моему мерину.

Шофер Серега посмотрел на маленькую, тщедушную лошадь и съязвил:

– Твой мерин, Кузьма, промеж настоящих лошадей будет вроде как легковая машина.

Подошел и начал обидно крутить хвост лошади.

– Ты хвост в эту сторону крутишь, что ли, когда ее заводишь?

– Проходи, проходи, битюг, – огрызнулся Кузьма, но слова шофера все-таки задели его, и по этой причине Кузьма забыл положить в телегу веревку, которую всегда брал на всякий случай.

В ту же субботу Кузьма вез со станции "специального человека", то ли инженера, как после говорил Кузьма, то ли геолога.

Инженер, то ли геолог, был очень молод. Круглое ребячье лицо и льняные курчавые волосы придавали ему очень несолидный вид.

Андрюша, как он представился Кузьме, был младшим научным сотрудником Геолого-разведочного института в Воронеже. Вчера директор института, читая какую-то бумагу, недовольно проворчал:

– Придется тебе, Андрюша, съездить в Пухтинский уезд. Там что-то произошло, что именно, понять нельзя, не то крупный обвал, не то что-то в этом роде, понимаешь? Съезди, посмотри на месте, как и что, прочти, что ли, популярную лекцию по поводу бурных процессов в земной коре. Там колхозники требуют... научных объяснений. Ну и поскорее возвращайся.

Субботний день был исключительно хорошим, после дождей с четверга установилась ясная погода, и было настолько тепло, что сапожник дядя Тихон колотил свою жену на свежем воздухе.

Инженер, лежа в телеге, насвистывал из "Корневильских колоколов" и задавал много вопросов Кузьме. Справлялся, сколько жителей в Пухтино, есть ли моло-

денькие учительницы, врачи, и как далеко тянется этот лес, и водятся ли в нем волки и медведи. Шумел старый бор, струились чудные тени, пахло земляникой и медом.

Потом ехали песками, и песок больно бил в лицо и засыпал глаза. Инженер перестал свистеть и спросил от нечего делать, давно ли Кузьма "служит при лошади". Андрюше нравился своеобразный оттенок этой фразы, ее степенность подстать Кузьме. Кучер обернулся, посмотрел на седока и сказал, что "на этим выросли", что его отец и дед были кучерами, что зовут его Кузьма-кучер. И фамилия Кучеров. Стегнул лошадь, хотя надобности в этом не было, и погрузился в раздумья.

Андрей заметил, что Кузьма несколько раз оборачивался, как будто что-то собирался спросить, но не решался. Инженер решил прийти Кузьме на помощь:

– А что такое, скажите, пожалуйста, случилось в Орловке?

– Не наше это дело, – уклонился от разговора Кузьма и долго не оборачивался.

Только когда ехали мимо большого озера, Кузьма указал кнутовищем и сказал:

– Щучье, щук – тьма. А скажи ты, ученый человек, откуда у рыб пошло такое название: щука, окунь, скажем шелешпер, а?

Видимо, этот вопрос долго мучил Кузьму.

– Ну, Кузьма, почему дом называется домом, понимаешь? Не все ли равно... – объяснил Андрей и по затылку кучера видел всю недостаточность своего объяснения.

– Дом он домом называется, потому что в нем люди живут, – солидным басом разъяснял кучер.

– Ну, хорошо, – не желая спорить, соглашался Андрей, – а собака, почему собака называется собакой, это понятно?

– Почему? – снова обернулся Кузьма, – собака она собака и есть, это ясно, а тут окунь, так?.. Шелешпер...

Андрей, чувствуя полное поражение в споре с Кузьмой, умолк. Кузьма из деликатности разговора не возобновлял.

Тут Кузьма слез с телеги, поправил хомут, оглобли, осмотрел колеса, словно приготовляясь к каким-то важным испытаниям, и закурил цигарку. И с этой минуты телега действительно закачалась по ухабам, как шлюпка по волнам.

Инженер ползал по телеге, чтобы сохранить равновесие. Кузьма аккуратно предупреждал опасные места: "А теперь, товарищ, забери вправо, – говорил Кузьма, – здесь колдобина".

Вскоре седок приспособился к этим испытаниям и начал тихонько посвистывать, болтать ногами, смотреть вниз на две глубокие колеи – щели, протертые колесами в липкой земле. Щели были глубокими, местами доходили до самых осей телеги. От безделья в голове инженера созрел грандиозный проект – как легко и экономно разрезать земной шар, будто арбуз, на три части. Для этого нужно раздать окрестным колхозникам тонкие, высокие колеса... Проект, этот инженер понимал, пустой, никчемный, но голова сама продолжала разрабатывать детали проекта, заботиться о том, чтобы разрезанные части были равные.

Вот здесь-то и получилась неприятная история.

Подъезжали они к Большим Лужам. За небольшим поселком действительно раскинулась огромная лужа. То ли здесь когда-то выбирали грунт, глину для домашнего обихода, то ли пруд со временем загрязнился до безобразия, только после дождей лужа эта заливала проселочную дорогу. Находилась Большая Лужа на стыке владений двух колхозов, каждый из которых твердо считал, что Лужа принадлежит соседу. В этом и были причина ее долголетия. У плетня валялись бревна, битый кирпич. Видимо, когда-то кто-то пытался начать какие-то работы, но дела до конца не довел.

По правде говоря, Кузьма думал сначала предупредить пассажира, а потом закрутить цигарку. Но перепутал: прежде сунул цигарку в рот, а потом... но потом было поздно. Телега резко качнулась, инженер секунды две помахал руками и ласточкой полетел в грязь.

Быстро собрался народ. На бревнах, кирпичах разместились любопытные. Ребята воробьями рассыпались по плетню, и между ними редкостной заморской птицей выделялся апухтинский кузнец – огромный, рыжий, небритый дядя в жилете на рубаху белым горохом по красному полю. Инженер первое время отчаянно барахтался, но вскоре, видимо, устал и теперь задумчиво стоял по грудь в грязи, словно приводил в исполнение свой проект о разделении земного шара на три части. Кучер растерялся, судорожно шарил в телеге, разыскивая веревку. Раза три снимал фуражку, чесал плешь и наконец объявил, что проклятая, наверное, вытряслась.

Послали ребят к Маланье за веревкой. Они всей оравой помчались огородами, и у Маланьи поднялся ужасный гвалт. Но все же выяснилось, что еще с утра Афанасий уехал за дровами на Кручи и что если бы даже была веревка, все равно Маланья ни за что не дала бы ее, потому что в прошлый раз "вот так тоже взяли веревку, чтобы жеребца вытаскивать, жеребца вытащили, а веревки и след простыл".

Ребята подразнили старого облезлого Шарика, перелезли через плетень и доложили о неудаче.

Между тем положение становилось серьезным. Инженер по горло сидел в луже, беспомощно вращая головой, иногда вдруг решительно требовал, чтобы его вытащили немедленно, временами после длительного раздумья заявлял, что "если б знал, ни за что не поехал бы".

Всплыла масса проектов.

Егор Митрич Сурик хлопнул себя по лбу и объявил: "Чего же он думал раньше".

Все повернулись к Егору Митричу. Тогда он крепко сжал кулак, даже немного согнулся в коленях и проникновенным голосом приказал:

– Надо гнать лодку, лодку, вот что.

Рядом с ним стоял какой-то человек с непомерно длинным носом. Он держал голову набок, казалось, засунул нос в боковой карман своего пиджака и вот-вот, как утка, начнет им охорашиваться. Он широко и сладко зевнул, так, что все поняли, что Егор Митрич говорит ерунду, никакой лодки поблизости не было.

– Лодкой ничего... лодкой можно, да где ее возьмешь, – отозвался кто-то рассудительно.

Егор Митрич, который все еще стоял, согнувшись в коленях, словно дожидаясь этих слов, моментально выпрямился и торжественно изрек:

– То-то и оно-то!

Затем на минуту все стихло, и вдруг огромный рыжий дядя крикнул с забора Кузьме:

– Мымра, отвяжи вожжи!

Действительно, это так просто. Кузьма, видимо, сконфузился. Он медленно, нехотя подошел к лошади, как бы говоря: "Смотрите, все равно ничего не получится". А рыжий, поплевывая семечки, непрерывно важничал, кричал и обидно командовал.

Все увлеклись поединком Кузьмы и рыжего дяди, и, когда вожжи были отвязаны, никто не заметил, как голова инженера скрылась под водой. Кузьма все же закинул вожжи на место, где раньше маячила голова инженера, показывая, что, как он и ожидал, ничего из этого не вышло.

Удивительно, что дальнейшие двухчасовые поиски с баграми не дали никаких результатов, инженер бесследно исчез. Его пожалели, и народ, обсуждая случившееся, стал расходиться. Уехал и Кузьма.

Тут еще Авдотья Терехова завладела вниманием толпы. Она подняла дикий крик, но из ее слов мало что можно было понять: она шла по ту сторону плетня с полными ведрами на коромыслах и вдруг заметила диковинной длины остроносые ботинки. Развевающийся черный плащ на ярко-красной подкладке временами открывал "тонюсенькие ножки, как у француза". Но когда Авдотья подняла глаза, она от ужаса вскрикнула "с нами крестная сила!" и бросила ведра с водой. По ее словам, из-под шляпы "француза" виднелось не лицо, а, "истинный Бог, кринка для молока". Это, говорила Авдотья, было так страшно, что у нее сердце сразу остановилось. А "француз" мгновенно растаял, как облако, или провалился сквозь землю.

Приближаясь к пухтинскому сельсовету, Кузьма чувствовал себя неважно. И чего он только не передумал за эти пять километров от Больших Луж до Пухтино. Не то чтоб Кузьма чувствовал себя очень виноватым, а все же неприятно, и разговоров не избежать. Скажут: "Кузьма, что же ты смотрел?" Скажут: "Кузьма, что же ты?.."

– Кузьма, – окликнул его кто-то.

Кузьма вздрогнул и обернулся.

Перед ним стоял какой-то молодой человек и держал в руках фуражку, доверху набитую мелкими желтыми яблоками.

– Что, Кузьма, не узнал?

– Ка-будь нет.

На всякий случай кучер приветливо улыбнулся и остановил лошадь.

– Ты ж меня вез со станции.

Кузьма беспомощно посмотрел по сторонам.

– Все могеть быть... – холодно ответил он и хотел тронуть лошадь.

Новый знакомый бросил яблоки в телегу и надел фуражку. Тут Кузьма признал утопшего инженера. Инженер рассказал историю, в которой Кузьма, конечно, ни одному слову не поверил.

Будто, как только Кузьма пошел отвязывать вожжи (у Больших Луж), инженер почувствовал резкий толчок снизу. Его с силой подбросило под самые облака ("за что купил, за то и продаю", – говорил Кузьма), и инженер будто бы пролетел километров пять-шесть и снизился у Пухтинского шоссе, и будто под облаками мимо него пролетел кто-то в длинном черном плаще на красной подкладке и, поравнявшись с ним, вежливо поздоровался, приложив к шляпе два пальца. Инженер хвастался тем, что совсем не растерялся, что хладнокровно расправил плащ и на нем, как на парашюте, спустился вниз.

Кузьма-то хорошо знал, что тот плащ, на котором будто бы спускался из-под облаков, лежал у него в телеге, и, вежливо ухмыляясь, довольный, колотил себя по сапогам кнутовищем.

"Ври, ври, – думал Кузьма, – ври, хороший человек, сколько тебе угодно, мое дело сторона и за утопленника не отвечать".

– Вот здесь она, эта самая Орловка, и была, – ткнул кнутовищем Кузьма на сторожку, одиноко стоявшую на опушке леса. – Остановить, что ли? – Василий, – сказал Кузьма подошедшему сторожу, – покажи свое хозяйство товарищу из Воронежа, специалисту по орловскому делу.

Прямо от сторожки шел пологий скат, углубляясь метра на два, а затем ровная, почти зеркальная поверхность грунта, тянувшаяся примерно на полкилометра. Андрюша несколько раз прошелся по площадке вдоль и поперек и наконец обратился к сторожу с вопросом:

– Скажите, а гула какого-нибудь не было в это время?

Гула, оказывается, не было.

Андрюша задумчиво бил по сапогам веткой, размышлял. Случай действительно необычный. Ничего подобного на лекциях в институте не встречалось. Не встречалось и в учебниках.

А что если это, подумал Андрюша, какое-то новое неизвестное прежде явление в земной коре. Может быть, это открытие, может быть, ему улыбнулось редкое счастье ученого. Андрюша уже видел себя на кафедре, как он делает блестящий доклад о новом явлении, тектоническом явлении на европейской равнине.

"Прислали какого-то тронутого", – подумал Василий, глядя на улыбающегося, чем-то очень довольного парнишку.

– Скажите, – спросил опять Андрюша, – а какие-нибудь провалы, обнаженные странные породы не возникли за эти дни здесь, в округе?

Василий, конечно, понял, о каких породах идет речь, но, лукаво посмотрев на парнишку, сказал, что в округе, кроме буренок, никакой другой породы нет. "Вот козла Митрича у заведующего продуктовой палаткой в Пухтино Максима Афанасьевича, может посмотреть стоит".

Андрюша буквально засыпал Василия разными вопросами, часто не слушая ответа. Спросил, например, не появлялись ли в округе какие-либо новые источники.

– Да родников тут тьма-тмущая, – сообщил Василий, – да вот здесь, в нескольких шагах.

Андрюша внимательно осмотрел родничок. Ложе его было бурого цвета. "Железистый источник, – мелькнуло в голове у Андрюши, – может, большие за-



лежи железняка. Может, здесь повезет". Для геолога главное – везение, вспомнил Андрюша кем-то сказанную фразу. В сознании как-то само собой складывалось объяснение исчезновения Орловки.

Орловка была – была. Это факт. Орловки нет – нет. Это факт. Куда могла деваться Орловка? Единственное объяснение – образовался грандиозный провал, куда и опустилось село. Потом под действием тех же сил провал закрылся. Все совершенно логично, торжествовал Андрюша, и всякое другое объяснение исключено.

Время приближалось к четырем часам, а в половине пятого в пухтинском колхозном клубе был назначен доклад геолога о строении земного шара.

Председательствовал тракторист Семенов. Он чем-то напоминал Андрею институтского профессора математики Семена Семеновича Панферова, у которого не так давно на экзамене по аналитической геометрии Андрей безнадежно "поплыл".

Андрей думал в своем докладе развернуть широкую картину и, так сказать, "парить", как любил говорить директор института. Однако неприятные воспоминания сразу подрезали крылья, и "парение" не удалось.

Андрей Петрович, как звали геолога, начал свой доклад с устройства Солнечной системы. Но здесь долго не задержался.

– Я перехожу к истории Земли в собственном смысле этого слова, – сказал Андрей Петрович.

Это место доклада надолго осталось в памяти пухтинцев и все благодаря дяде Федору.

Когда Тихон вторично поставил гнилые головки к сапогам дяди Федора, дядя Федор хотел как можно сильнее оскорбить Тихона и тут вспомнил это место из доклада.

– Ты, Тихон, не колхозник, – шипел дядя Федор, потрясая сапогами, – ты, Тихон, жулик в собственном смысле этого слова.

После жалобы Тихона на дядю Федора в правление колхоза за оскорбление эта фраза стала крылатой в Пухтино и приобретала подчас необычный смысл.

– В истории известны случаи, – говорил докладчик, – когда в результате грандиозных катастроф исчезали целые города. В самом начале нашей эры под пеплом и лавой вулкана Везувия были погребены некогда цветущие города Помпеи, Геркуланум и Стабия. Надо думать, что и в данном случае мы имеем дело с работой титанических сил в земной коре, – заканчивал свой доклад Андрей Петрович. – И на вас, пухтинцы, может быть, пала большая честь вписать славную страницу в историю науки.

Многие из слушателей радушно и гостеприимно улыбались, потому что улыбался докладчик и говорил что-то лестное пухтинцам, но часть аудитории заметно помрачнела, особенно после истории о гибели Помпей, Геркуланума и Стабии.

Наконец, плотник Иван взял слово и спросил:

– Это что же выходит, вернешься с работы, а у тебя ни хаты, ни жены, ни детей, ни скотины – одна титаническая сила, прости меня господи, так я говорю, мужики?

– Верно, Иван, режь правду-матку.

Дядя Тихон, захлебываясь от восхищения, мотал головой:

– Мы на это не согласные.

Докладчик почувствовал, как почва уходит из-под ног. Ощущение точь-в-точь такое, как на экзамене по математике у Семена Семеновича.

Председатель, видя замешательство докладчика, пришел на помощь:

– А вы, товарищ, спокойно поясните о титанических силах и какие, к примеру, имеете конкретные соображения о действии их в этом районе.

Докладчик некоторое время глотал воздух, как вытащенная из воды рыба, а потом решил рассказать о случае в Большой Луже, который, по его мнению, свидетельствует именно о действии этих сил в районе Пухтино.

– Видимо, это не единичный случай, – говорил инженер, упомянув о том, что под облаками мимо него пролетел какой-то гражданин в длинном черном плаще на ярко-красной подкладке. Будто бы этот человек, поравнявшись с инженером, вежливо с ним поздоровался, приложив к шляпе два пальца.

Тут дядя Тихон расхохотался до колик.

– Два пальца, говоришь... – заливался он фальцетом.

Даже сдержанный председатель еле крепился, и когда Андрей, совершенно растерявшийся и взмокший, умолк, председатель поблагодарил его за доклад о строении Земли.

– А что касается до случая с Орловкой, то это, видимо, не по специальности докладчика. Мы попросим институт прислать нам какого-нибудь старшего товарища, – пряча улыбку в усы, заключил председатель.

Андрей был готов провалиться сквозь землю, он чувствовал себя хуже, чем после экзамена у Семена Семеновича».

Было далеко за полночь, когда доктор предложил прекратить "бдение".

– Шахразада, пора, пора спать, – говорил доктор, спешно разбирая свою постель.

– А от вас, журналист, большего я и не ожидал. Вы ударились, согласно природе вашей профессии, в сенсации... Исчез целиком поселок Орловка... – доктор пожал плечами. – Гоголь еще мог так писать!.. Здесь же, казалось бы, научная фантастика, а не бред... Извините, это просто газетная утка, за которую репортеру должно в конце концов влететь. Я не представляю, как мы выскочим из всего этого, – ворчал доктор. – Я бы сказал, это безответственная фантазия. Выдумал какую-то историю с Васькой-Каином...

Журналист, который с таким подъемом вел рассказ, виновато молчал. Правда, по поводу Васьки-Каина он сказал, что это не выдумано: "Так, вспомнил былое..."

Потом еще долго вспоминали события недалекого прошлого гражданской войны, удивительные биографии участников этих событий. В то время они как-то нашли свое место в истории, обрели свои цели в жизни.

Ушли в прошлое дела и песни героических дней, настали новые времена, новые песни. Многим не оказалось места в этом новом скучном для них мире.

– Цель жизни, – философски заключил журналист, – источник жизненных сил.

Как бы смутившись несколько выспренным стилем своих сентенций, он решил упростить сказанное, с шутливым видом спросить Валю о том, как она, Валя, понимает свои жизненные цели. В ответ на этот вопрос Валя лишь молча повела плечами.

ДЕНЬ ТРЕТИЙ

Вечером, когда в купе собрались все авторы, выяснилось, что никто из присутствующих не знает, как вести рассказ дальше.

– У нас вырос такой хвост событий, что мы не знаем, что с ним делать, – резюмировал ситуацию доктор.

– Кстати, о хвостах, – философски заметил журналист. – У каждого человека есть свой собственный и неповторимый хвост в буквальном смысле этого слова. Его надо только увидеть.

– Доктор, – спросила Валя, глядясь в зеркало, – какой хвост, по-вашему, мне подошел бы?

– Вам, Валечка, к лицу заячий хвостик, не зимнего зайца, а летнего, серенького.

– Драного, доктор?

– Зачем же драного, не совсем...

– Спасибо, вам, доктор, седой волчий хвост, как нельзя лучше!

– Молодец, Валя! У вас прорезаются зубки.

– Вы, журналист, молчите: хвост у вас от желтого ирландского сеттера... Такой висячий, в космах.

Журналисту хвост не понравился, он скорчил недовольную мину, беспокойно шарил по доктору глазами, искал места для ответного удара. Ответный удар не получился, и журналист скис.

– А инженеру? – спросила Валя.

– Инженеру подошел бы упругий, толстый, тугой хвост надворного советника, – безапелляционно решил доктор.

– Знаете, а я соскучилась по Ивану Ивановичу, – между прочим сказала Валя, – хорошо бы его снова отыскать, и, может быть, он подскажет направление рассказа. У нас есть специалист по Ивану Ивановичу: его коллега Иван Алексеевич.

Иван Алексеевич отнекивался и лишь после долгих уговоров стал поправлять галстук, аккуратно застегиваться на все пуговицы, готовиться к рассказу.

«В пятницу, – начал Иван Алексеевич, – во время вечерней смены директор школы сидел в своем кабинете и хмуро просматривал циркуляры Наркомата, от которых всегда ждал какого-нибудь подвоха.

Циркуляр был совсем обыкновенный, казалось бы, нет повода для беспокойства, а директор нервничал. Перечитывая циркуляр в пятый раз, директор заметил, что источник беспокойства находится вовне, а именно в соседней комнате, откуда слышался голос, похожий на голос Ивана Ивановича.

Голос будил не очень осознанные, но неприятные воспоминания, что и создавало угнетенное настроение.

Сквозь щель неплотно закрытой двери действительно можно было увидеть Ивана Ивановича в шляпе на затылке. Иван Иванович в свойственной ему несколько развязной манере сидел на столе и болтал ногами.

– Вы спрашиваете, откуда я? – слышал директор голос Ивана Ивановича. – Прямехонько с Марса, еле выбрался, право. Как будто культурные существа, а как бандиты хватают человека посреди белого дня, – гремел Иван Иванович. – Но не на такого напали! Я устроил там грандиозный скандал этому главному, в черном плаще на красной подкладке. Говорю: "Безобразие, я этого дела так не оставлю!" Видимо, перетрусил и отпустил, – удовлетворенно заключил свою по обыкновению неясную речь Иван Иванович и направился к кабинету директора. Директор уже принял решение стоять твердо и не сдаваться.

– Ну, вот и я, – сказал Иван Иванович, входя в кабинет.

– И что же? – сухо ответил директор, не отрывая глаз от циркуляра.

– Как – и что же?.. Пришел на занятия, и все.

– Но ваше место занято, у нас другой биолог.

Директор по-прежнему читал циркуляр.

– То есть как другой? А как же я? – повысил голос Иван Иванович.

– Вы? – не отрывая глаз от циркуляра, продолжал директор, – вы умерли, а ваша должность, согласно обычным правилам, замещена.

– То есть как же я умер, если я стою перед вами?! – настаивал Иван Иванович.

– Ничего не знаю, – холодно ответил директор. – Вы умерли и согласно объявлению в газете, – директор ткнул в газетную вырезку пальцем, – и согласно бухгалтерской записи вашей семье оказана помощь... денежная. Не могу входить в ваши семейные дела и выслушивать объяснения, – директор захотел закончить разговор.

– Через четырнадцать минут начало урока, и я пойду в свой класс, – Иван Иванович был полон решимости.

Директор встал и, как бы загораживая выход, приготовился к столь же решительным действиям.

– Я не могу допустить, – сказал директор запальчиво, – чтобы в моей школе преподавали покойники. Это же скандал, если человек, которого хоронил весь город, вдруг публично появляется на уроке. Я не могу доверить вам воспитание юношества!

– Ну какой же я покойник? Я, Иван Иванович, стою перед вами, – Иван Иванович перешел на мирный, почти просительный тон.

– Все равно, – упрямо повторял директор.

– Как же все равно? Я же живой!

– Все равно. Вы живой биологически, – нашелся директор, – но в общественном смысле вы умерли.

Директор, довольный тем, что наконец нашел удачную формулировку, смягчился и даже задумался над судьбой Ивана Ивановича.

– Могу посоветовать вам только одно, – раздумывая, сказал директор. – Поезжайте в Воронеж и возьмите новое назначение в другой уезд, где вас не знают.

Во время разговора Иван Иванович храбрился, но постепенно его стало охватывать чувство неосознанной вины, он потерял былую уверенность и был склонен последовать совету директора.

В Воронеже Иван Иванович договорился о назначении, пришел в благодушное настроение, и тут дернула его нелегкая рассказать инспекторам, отдыхавшим за стаканом чая, свою историю с похоронами, с полетом на Марс. Инспектора переглянулись, и Иван Иванович увидел, как его назначение, почти готовое, но еще не подписанное, инспектор накрыл ладонью, отодвинул к краю стола, а затем оно исчезло в боковом ящике.

– Что касается назначения, – сказал инспектор, – то с этим делом придется несколько подождать. Но если понадобится какая-либо помощь, там лечение, это, безусловно, можно организовать.

Иван Иванович пришел в бешенство. Он поносил директора школы, угрожал инспекторам, грозился оторвать уши ослоухому. Кончилось дело тем, что в карете "скорой помощи" Ивана Ивановича отправили в буйное отделение загородной больницы. Врач в который раз со скучающим видом слушал рассказ Ивана Ивановича о его злоключениях.

Появление Ивана Ивановича несколько ослабило беспокойные толки в районе. Правда, оставался неясным случай с Орловкой. Но здравомыслящие люди заметно успокоились: "И с Орловкой, – говорили они, – как-нибудь образуется. Вот на что странный случай с Иваном Ивановичем, а в конце концов оказалось, что просто человек был не в своем уме, и все"».

– И все, – повторил доктор, – час ночи, Шахразаде пора прекратить дозволенные речи.

ДЕНЬ ЧЕТВЕРТЫЙ

– Ну что же, положение прояснилось, – сказал доктор, – Орловка на Марсе, профессор с сотрудниками на Марсе. Как они туда попали, не знаю. Тут журналист по легкомыслию впутал нас в эту историю. Начинаются технические вопросы. Это уже по вашей части, Алексей Никанорович. Как-то вывозите, выкручивайтесь!

«Петр Николаевич, – продолжал рассказ инженер, – проснулся, как обычно, рано. Светящийся циферблат будильника показывал шесть часов. В спальне было сумрачно. Тяжелые шторы пропускали мало света. Петр Николаевич лежал и думал. Ему захотелось сделать оценку одной идеи немедленно, и он, надев халат, отправился в кабинет, сел за стол и углубился в работу.

Думалось легко, иногда, правда, отвлекали различные звуки, доносившиеся из соседних комнат. Это Матвеевна приступила к своей шумной деятельности. Вскоре она со щеткой и мокрой тряпкой появилась в кабинете. Матвеевна относилась к Петру Николаевичу довольно снисходительно, может быть, чуть-чуть хуже, чем к массивному письменному столу, который она заметно выделяла из других подвластных ей вещей.

У Матвеевны были вещи-любимцы, фавориты, и вещи-враги. Особенно не любила она большой книжный шкаф, черный, крепкий, тесно набитый тяжелыми фолиантами. Когда Матвеевна натыкалась на него, шипела тихо, угрожающе:

"У, идол... Анчутка..." Матвеевна – женщина серьезная, немногоречивая. Она никак не могла понять, зачем столько книг. Разве нельзя сказать все в одной толстой книге?

Матвеевна двигалась по кабинету, по привычке натыкаясь на мебель и не обращая никакого внимания на Петра Николаевича. Только когда она опрокинула стул рядом с креслом Петра Николаевича, он решил спросить, что, собственно говоря, происходит.

В тех случаях, когда Петр Николаевич был чем-либо раздосадован, он обычно делал эту небольшую вставку: "собственно говоря", которая произносилась медленно и всегда с закрытыми глазами. Как будто для того, чтобы сказать эти два слова, требовалась большая внутренняя работа. Сотрудники не любили этих слов. Не любила их и Матвеевна. Она обиженно начинала длинные и утомительные объяснения. Раньше в подобных ситуациях Петр Николаевич терялся, а Матвеевна, разгромив в дискуссии противника, громко и порицательно вздыхая, с победоносным видом продолжала уборку.

Но потом Петр Николаевич изобрел спасительный прием, рассчитанный на необычайную забывчивость Матвеевны. Стоило только в самый кульминационный момент спора поставить вопрос в очень общей форме: "А не забыли ли вы, Матвеевна?..", как она сейчас же вспоминала, что забыла посолить суп, закрыть газ, забыла молоко... и что кот Омега... Тут она срывалась с места, вихрем мчалась в кухню, и ее траектория густо обозначалась опрокинутыми стульями и сваленными книгами.

– Скажите, Матвеевна, куда девался Омега? – задумчиво задает вопрос Петр Николаевич.

Лицо Матвеевны становится энергичным, воинственным:

– Батюшки, Анчутка... У меня же там баранина...

Хлопнул об пол великолепный "Брем", "Вселенная вокруг нас" Джинса описала в воздухе мертвую петлю.

В дверях Матвеевна чуть не сбила с ног Юру.

– Видали, метеор?

Петр Николаевич ждал выражения понимающего сочувствия, но лицо Юры словно окаменело в какой-то сосредоточенности.

– Петр Николаевич, вы меня извините, я буду говорить странные вещи, – медленно произнес Юра.

Петр Николаевич впервые видел своего молодого сотрудника в таком состоянии внутреннего возбуждения и с интересом наблюдал за Юрием. Видимо, Юрию пришла в голову поразившая его мысль, которую он, конечно, считает гениальной. Недаром он вчера так неожиданно появился на даче. Как знакомо это ни с чем не сравнимое ощущение радости открытия. Затем, конечно, как правило, разочарование, но иногда...

– Юра, вы получили какой-нибудь необычный результат и смущены, – мягко спросил Петр Николаевич, – не так ли? Не смущайтесь. Я хочу сказать, нельзя отбрасывать результат только потому, что он необычен. Надо тщательно проверить путь, по которому вы шли... Надежность вывода...

Петр Николаевич улыбается, ясно, что он хочет рассказать забавный случай.

– Что было бы с наукой, – Петр Николаевич кивнул головой на книжные полки, – если бы люди боялись необычных выводов? Разве очевидны выводы Эйнштейна и Минковского о связи пространства и времени?

Юра любил беседовать с Петром Николаевичем на такие общие темы. По-новому освещались привычные проблемы. Появлялось сильное желание сделать что-то значительное.

А сейчас Юра стоит скучный и с нетерпением ждет, когда профессор кончит свою речь. Слова Петра Николаевича кажутся ему бледными, ненужными. Даже немного досадно, что умный человек говорит с таким значительным видом трафаретные вещи.

– Петр Николаевич, понимаете, я проснулся ночью, вышел на улицу и увидел странное небо, странное расположение звезд, – сказал Юра. – Меня поразили Луны – это в точности спутники Марса. Как только рассвело, я вышел из дачи. За дачными участками начиналась бесконечная пустыня красноватых песков...

Петр Николаевич понимал отдельные слова, которые произносил Юра, но мысль уловить было трудно, и он растерянно смотрел на своего молодого сотрудника.

В этот момент дверь кабинета распахнулась, и в комнату влетел озабоченный Иван Иванович. Иван Иванович когда-то был неудачным аспирантом Петра Николаевича. Петр Николаевич до сих пор не мог простить себе, как за внешней деловитостью, которая, в сущности, была простой суетливостью, он не заметил бездарности. Эта суетливость до такой степени раздражала профессора, что он почувствовал большое облегчение, когда отделался от великовозрастного молодого ученого.

И вот опять Иван Иванович! Профессор недовольно поморщился, а Иван Иванович, как всегда, привычно засуетился.

– Рад вас видеть, Петр Николаевич, на этой мрачной планете. Вот не ожидал... А что я ожидал? Был у меня жестокий сердечный приступ, в среду... Так... Утром в четверг пришел Владимир Константинович, врач. Послушал меня и говорит про себя: "Крышка, пить надо меньше". И громко так, на всю комнату (у нас комната большая – вот эта и та будут вместе): "Умер..." Вот, думаю, дурак старый – здесь же дети, жена... А ни пошевелиться, ни сказать ничего не могу. А потом, как и вы, появился на этой планете. Ошибка, говорят, вышла, приняли, говорят, вас за ассистента Петра Николаевича. Ну хорошо, допустим, вышла ошибка, пусть какой-то технический работник что-то напутал. Хорошо, извинитесь. Так я говорю? И отправьте обратно. А то хватают среди бела дня человека, как американские гангстеры, увозят черт знает куда, и, скажу вам между нами, жаловаться некому, некому... Марс... Культурнейшие существа, – горохом сыпал Иван Иванович.

– Иван Иванович, – успел вставить раздраженный Петр Николаевич, – вы никогда не отличались ясностью в изложении мысли. Скажите, наконец, членораздельно, что происходит?

– Это все он. Вы у него спросите, – обиженно ответил Иван Иванович и указал пальцем на окно. – Вырядился, как петух.

Петр Николаевич безнадежно махнул рукой, как это при всей его сдержанности бывало и на семинарах после очередного научного доклада Ивана Ивановича, и буквально выскочил из дачи.

Он с трудом, нехотя, отрывался от своих вычислений. Необычное поведение Юры и неожиданное появление Ивана Ивановича пока не совсем вытеснили из сознания мысль о новой, захватившей его идее. Только возникло желание, как он говорил, глотнуть свежего воздуха.

Выходя из дома, Петр Николаевич остановился перед маленькой Аленкой, внучкой Матвеевны. Она сидела на корточках и была целиком поглощена каким-то сооружением.

Петр Николаевич задумчиво погладил Аленку по пушистой головке и даже спросил ее:

– Киса, что ты строишь?

Аленка недовольно покрутила головой, строго посмотрела на Петра Николаевича и решительным басом заявила:

– Я не киса, я ребенок... у меня блохов нет, и меня трогать можно.

– Гм... Блохов нет... – повторил Петр Николаевич.

Тут он обратил внимание, что сооружение Аленки построено из песка ярко-красного цвета. До сознания Петра Николаевича дошло что-то сказанное Юрой о красном песке. Подняв голову, он увидел, что невдалеке на большом камне восседала человеческая фигура в каком-то странном театральном одеянии. Длинный черный плащ на красной подкладке ярко освещался восходящим солнцем. На голове незнакомца блестел черный элегантный цилиндр.

Вскоре все спутники Петра Николаевича окружили молчаливо сидящую фигуру.

– Видимо, я причинил вам большое беспокойство, – сказал незнакомец, обращаясь к подошедшей группе людей. – Да, я причина всего этого, – голос звучал устало, грустно. – Мне остается только извиниться и исправить свою ошибку. Дело в том, – продолжал незнакомец, – что в результате грандиозной катастрофы, погубившей цивилизацию Марса, я, почти единственный оставшийся в живых, растерялся и рефлекторно совершил ряд необдуманных действий. Вы в какой-то мере жертва моей растерянности, вызванной трагической гибелью цивилизации Марса. Не беспокойтесь, я в состоянии вернуть вас на Землю. А если вам интересно услышать предысторию и краткое объяснение случившемуся, прошу немного терпения.

Незнакомец жестом пригласил присутствующих расположиться поудобнее, дав понять, что рассказ будет не очень коротким.

Кругом тянулись красноватые, в мелких складках пески. Вся аудитория расположилась тут же, на песчаных дюнах, приготовившись слушать.

Марсианин говорил на чисто русском языке, с характерным для московского говора "аканием".

Петра Николаевича что-то поразило в речи незнакомца. Профессор заткнул уши пальцами, но звук речи нисколько не ослабевал. "Удивительно, – думал Петр Николаевич, – мысли говорящего передаются непосредственно в мозг". Тут профессор с удивлением заметил, что у незнакомца и лица-то нет: из-под полей



цилиндра – теперь это уже было ясно видно – выступала половина полированного шара. Петр Николаевич понимал беспокойство шофера Миши, который неоднократно пытался осмотреть затылок незнакомца.

– Разумные существа, населявшие Марс, – начал незнакомец, – по своему внешнему виду были похожи на земных людей. В моем рассказе вы услышите странные вещи. Технические и биологические возможности, о которых будет идти речь, просто невероятны с точки зрения ваших земных представлений. Я только прошу вас иметь в виду, что нас разделяют два миллиона лет интенсивного научного и технического развития. Вспомните историю научных открытий и технических изобретений на Земле за ничтожно малое по сравнению с длительностью нашего культурного развития время. А научные и технические возможности, как показывает история нашего народа, безграничны!

В этот момент откуда-то появился по виду пластмассовый шар величиной с футбольный мяч. Он то медленно катился между сидевшими на песке, то долго и назойливо крутился на одном месте.

Шофер Миша давно следил глазами за шаром, и когда шар оказался близко, он привычным ударом опытного футболиста попытался его отбросить. Шар не сдвинулся с места, только Миша долго потирал ушибленную ногу.

– Поэт и астроном Ти-Ит, – сказал марсианин, указывая рукой на шар, – единственный, кроме меня, оставшийся в живых после гибели нашей цивилизации. Но об этом после.

Шар почему-то описывал круги именно вокруг Маши. Радиусы кругов то постепенно уменьшались, то снова увеличивались, будто какая-то невидимая сила, раскручивая спираль, мешала шару приблизиться к Маше. Он еще немного покружился и исчез.

– На Марсе цивилизация достигла теперешнего земного уровня примерно миллион лет назад. Население планеты, – продолжал свой рассказ марсианин, – удивительно быстро прошло путь земной человеческой истории. Индустрия получила колоссальное развитие. Автоматика высвободила огромные творческие силы, они устремились в науку, в искусство. Успехи в медицине и биологии позволили продлить нашу жизнь почти до 600 лет.

Примерно миллион лет назад начался длительный период в жизни нашей цивилизации, который носит общее название "Эра вычислительных машин". Этот период грубо можно подразделить на эру хирурга Ле-Ко, эру инженера Са-Во-На-Рола, сравнительно короткую эру физиолога У-Ны-Лого и последние тысячелетия, связанные с деятельностью председателя Верховного Синклита Великого Последнего по имени Ра-Бо-Тя-Га.

В первые тысячелетия этой эры вычислительная техника проникла буквально во все области нашей деятельности. Вычислительная техника бесконечно совершенствовалась и стала самой большой гордостью марсиан.

Вычислительные проблемы ширились, усложнялись, появлялись новые вычислительные центры.

Вычислительные сооружения стали определять архитектурные пейзажи наших городов. На сотни километров тянулись стоэтажные небоскребы, грандиозные трапеции, пирамиды, параллелепипеды, как пчелиные улья, набитые сотами вы-

числительных узлов, которые, надо сказать, были бесконечно совершеннее и компактнее ваших современных вычислительных конструкций.

За миллион лет нашей истории организм марсианина претерпел радикальные изменения – как в результате естественного развития, так и главным образом благодаря усилиям хирургов, физиологов и техников в борьбе за долголетие.

В отдаленные первобытные времена нашей истории у нас, марсиан, были два способа общения: звуковой, который постепенно развился в речь, в результате чего возникло подобие земных языков, и другой способ, не имеющий аналога у людей, – чисто электромагнитный. У человека имеется один орган, регистрирующий электромагнитное излучение, – глаза, но глаза только поглощают, а не испускают электромагнитные колебания.

Соответствующие органы первобытного марсианина были построены, скорее, на принципе радиопередатчика и радиоприемника. Звуковая речь потом исчезла совсем, была забыта, и соответствующие органы со временем атрофировались.

Человеческая речь и мышление в каком-то аспекте связаны между собой. Связь между электромагнитной речью и мышлением у марсиан куда полнее и непосредственнее. Если угодно, нашу электромагнитную речь можно с успехом назвать передачей мысли на расстояние. Во всей истории марсиан и эволюции живого существа электромагнитная речь и соответствующие органы сыграли, может быть, определяющую роль.

Индустриальные центры были вынесены за сотни километров от городов. Они включались с помощью автоматических реле, действующих по получении мысленных распоряжений электромагнитного импульса мозга.

Мне трудно излагать вам особенности нашей электромагнитной речи и ее эволюции, а также эволюции органов речи за миллион лет. Я пожалуй, в более трудном положении, чем зрячий, объясняющий особенности зрительного восприятия слепому.

Наши органы речи выполняли также и функции органов зрения, но не только в диапазоне видимых волн лучей света. Зрение это очень активное, мы могли видеть предметы в темноте, освещая их электромагнитными волнами, которые испускает орган зрения. Миллион лет оттачивалось и совершенствовалось это особое чувство. Оно стало мощным орудием исследования строения вещества. Со временем мы стали в состоянии улавливать такие ничтожно малые интенсивности излучения, какие вряд ли можно регистрировать искусственными физическими приборами, и излучать импульсы колоссальной мощности. Но это пришло значительно позднее.

Еще до начала эры Ле-Ко работа биологов, физиков, математиков увенчалась созданием живого вещества – живых клеток, воспроизводящих себя делением. Живая клетка оказалась, в сущности, огромным и очень сложным самосогласованным организмом. Ваши ученые находятся только на самой первой стадии изучения проблем живой материи.

Когда были открыты интимные законы развития живого вещества, родилась идея циклопического эксперимента. Было решено изучить развитие живой материи на какой-нибудь планете: забросить на нее искусственно созданную живую

материю, записать по предсказаниям нашей теории будущую историю этого живого вещества и наблюдать течение эксперимента. Для этих целей наиболее подходящей оказалась планета Земля.

Полвека продолжалась санитарная обработка Земли, уничтожившая все организмы, зародившиеся на планете.

В различных пунктах Марса были построены предприятия, вырабатывающие в сутки миллионы тонн простейшей живой материи. Эта материя на космических кораблях доставлялась на Землю.

Около ста лет наши экспедиции собирали данные об условиях жизни на Земле, а вычислительные центры, которые, скорее, можно назвать вычислительными городами, обрабатывали эти данные специально изобретенными методами биологической математики. Шаг за шагом они писали на микрофильмах будущую историю живой материи Земли и, конечно, историю самой планеты, изменений физических условий существования живого вещества.

Эксперимент стал идефикс населявших нашу планету народов.

В течение нескольких столетий духовные и материальные средства всех федераций, всех континентов были брошены на проведение уникального эксперимента. Даже проблема номер один – проблема долголетия – временно отступила на второй план.

В центре города Разума – столицы нашей планеты – был воздвигнут Дворец Судеб, крупными спиралями уходивший в пятикилометровую высь. Верховный Синклит торжественно внес туда на руках первые рулоны Свитка Судеб.

Дворец Судеб представлял собой очень сложное сооружение. В результате удачного расположения лент микрофильмов и обслуживающих механизмов любой отрезок записанной истории Земли, любой отрезок микрофильма "Свиток Судеб", увеличенный в сотни тысяч раз, легко проецировался на экран и считывался. Я был назначен Хранителем Свитка. Да, да, это было миллион лет назад... В моем мозгу красочно запечатлена вся история Марса. Основные моменты этой истории я могу сделать видимыми и понятными для вас.

И действительно, перед землянами возникла пятикилометровая высь Дворца Судеб. Обширная площадь перед дворцом заполнена народом в красочных одеждах.

Члены Верховного Синклита планеты несут на руках Свиток Судеб. Было понятно, что высокий человек в развевающемся красном плаще, идущий вслед за Верховным Синклитом, – будущий хранитель Свитка Судеб. Всеобщее внимание привлекает этот человек, церемониально посвящаемый Великим Синклитом в Хранители Свитка Судеб. Его имя – Он. Он шел с непокрытой головой, обрамленной волнами золотистых волос.

Перед землянами возникло миллионолетнее прошлое того, кто в печальном смущении сидел здесь на холодном камне, освещаемый лучами заходящего солнца.

Каждый невольно подумал о тех микрофильмах, где записана его биография. Петр Николаевич узнал бы, какое решение примет в ближайшую пятницу Президиум Академии по поводу ассигнования десяти миллионов рублей на глубоко-подземную лабораторию для изучения космических лучей. Вероятно, там

записано, что на этом заседании возьмет слово профессор Академчук и, глядя поверх толстых стекол своих очков, внушительно скажет: "Для меня не ясна разумность подземных экспериментов по изучению космических лучей, к тому же эффект падает в области очень больших энергий... из-за формфакторов нуклонов и ничтожной интенсивности возможных нейтральных частиц больших энергий... все это делает, в сущности, эксперимент невозможным... в то время как на ускорителях..."

Петр Николаевич поморщился, словно проглотил горькое лекарство. Он уже подбирал убедительную аргументацию в защиту своего предложения.

– Эффект падает... Есть ли экспериментальные факты... позвольте вас спросить?.. Я хотел бы, чтобы этот пункт стал ясен всем присутствующим, – закончил свою мысленную речь профессор».

– Хотя наш уважаемый Алексей Никанорович меньше всего напоминает Шахразаду, все-таки настала ночь, и пришло время Шахразаде прекратить дозволенные речи, – прервал доктор рассказ инженера.

ДЕНЬ ПЯТЫЙ

С раннего утра доктор начал свою обычную воркотню.

– К сожалению, инженер не оправдал наших надежд, – говорил доктор. – Он не дал технического объяснения исчезновению Орловки, а только сослался на неограниченные научные возможности. Не знаю, может быть, так и надо. Миллион лет научных и технических изысканий, это же черт знает к чему может привести. Со Свитком Судеб инженер втравил нас в новые сложности. У нас и старых достаточно. Считаю, впрочем, Валя, вам повезло, что жители Марса в далеком прошлом походили на людей. Там ведь – извините, что я повторяюсь, – могла возникнуть совершенно иная цивилизация, например, муравьиного или пчелиного типа. Это еще мало изученная общественная, "социальная" форма. Нравится вам, Валя, такая "цивилизация"? Возникло бы у вас желание установить с ней контакты? И была бы такая возможность для этого? Следует напомнить, что такой вид "цивилизации" организованной материи широко распространен и на нашей планете и, возможно, на других. Не исключено, что появление Homo sapiens во Вселенной – бесконечно маловероятное событие.

– Теперь, видимо, моя очередь продолжать рассказ, – сказал доктор. – У меня не выходят из головы недавние обсуждения, говоря высокопарно, судеб человеческих. В сущности, речь шла о жизненных целях, которые руководят нами и в какой-то мере определяют нашу судьбу. Наш уважаемый коллега даже задал Вале каверзный вопрос: в чем она видит цель своей жизни? Цель жизни!.. Разве она не меняется в ходе истории? Я думаю, всезнающий и всепомнящий инопланетянин осветит эту проблему в историческом аспекте своей цивилизации, покажет нам, как обещал, различные моменты древней марсианской истории, когда она еще не очень отличалась от земной.

«– В те далекие времена – младенческие годы нашей истории, – рассказывал

марсианин, – модно было обсуждать, как говорили, "проблемы жизненных ценностей". Часто задавался риторический вопрос: "В чем смысл жизни?"

Далекое прошлое, когда естественное желание человека как-то продлить свое существование, хотя бы после смерти, и притом, конечно, в более совершенной и даже предельной идеальной форме, породило миф о бесконечном райском блаженстве. Смысл жизни видели в соблюдении ряда условностей "земного" существования, в награду за что и был обещан рай "небесный".

В дальнейшей истории Марса обсуждение "смысла жизни" и жизненных ценностей стало чуть ли не главной проблемой. Величайшие умы марсиан пробовали свои силы в решении этой проблемы. Из выдающихся людей планеты был составлен Всемарсианский Комитет Проблем Жизненных Ценностей. Комитет этот существовал почти миллион земных лет. Менялись люди, населяющие планету, менялись интеллектуально и физически. Соответственно менялись концепции жизненных ценностей.

Всегда и все были согласны с тем, что жизнь должна быть интересной, радостной, счастливой. Добавлялись и многие другие эпитеты. Но конкретное содержание этих эпитетов толковалось самым различным образом.

Известный физиолог Мун-Чи был главой одной из школ, последователи которой утверждали, что сама природа подсказывает решение проблемы.

Тут перед землянами возникла улица какого-то города, напоминающая улицу города любого европейского государства. Прямо перед зрителями ничем не примечательное здание – Всемарсианский Комитет Проблем Жизненных Ценностей. К этому зданию подходит, по земным понятиям, человек средних лет в костюме европейского покроя не первой свежести. Всем ясно, что это и есть физиолог Мун-Чи, и несет он в своем портфеле ставший потом знаменитым "Манифест о смысле и радостях жизни".

"Самая счастливая, самая радостная пора всего живого, – так начинался Манифест, – это пора детства. Посмотрите, как веселятся молодые существа! Как радостно играют и лают щенята! С какой восторженностью носятся по лугу телята! Это физиологическое ощущение радости должно сохраниться в течение всей жизни индивидуума. Недаром в народе бытует фраза "телячий восторг". Но в данном случае фраза "телячий восторг" должна потерять обидные оттенки скептической иронии. Она должна стать ведущим лозунгом, я бы сказал, символом нашей эпохи. Телячий восторг – величайший подарок природы! Именно в нем заключается ценность и цель нашей жизни".

Так проповедовал великий физиолог. И надо сказать, он обладал красноречием и даром убеждения.

По всей планете у Мун-Чи появились многочисленные последователи. Многие члены Всемарсианского Комитета Проблем Жизненных Ценностей стали сторонниками этого великого ученого.

В центре города Разума возникла Академия Телячьего Восторга.

Перед слушателями марсианина появилось своеобразное здание, построенное на лужайке, покрытой изумрудным ковром зелени. Талантливый архитектор сумел выразить суть задач этого учреждения в гениальном архитектурном решении.

Здание напоминало огромного рыжего теленка, взбрыкнувшего в экстазе восторга задними ногами и высоко задравшего хвост. На крутом лбу "теленка" переливалась радостными цветами надпись: "Наше дело – телячье!"

Из огромных круглых окон – выпученных глаз – в богатой цветовой гамме прожекторов лучилось что-то такое, что невольно создавало жизнерадостное настроение.

Спутникам Петра Николаевича удалось даже войти внутрь здания и пройтись по нему. В его головной части помещался зал общих собраний Академии. Отделение практики Телячьего Восторга размещалось как бы в передних ногах здания-теленка. Ближе к его задней части находилось Отделение теории Телячьего Восторга. Отделение философии и психологии Телячьего Восторга ютилось где-то в самом хвосте этого скульптурного чуда. Чрево здания занимал, видимо, большой штат обслуживающих подразделений Академии.

Заседания Президиума всегда проходили в атмосфере истинного телячьего восторга. Так продолжалось до тех пор, пока члены Президиума не достигли возраста, делавшего для них затруднительным выполнение некоторых ритуалов Академии, в частности установленного приветственного жеста, – веселого подрыгивания ногами. Жест приветствия стал традиционным в среде последователей движения Телячьего Восторга. За многие годы его существования возникли разнообразные оттенки приветствия – от очень элегантных (президентских) изысканных жестов до откровенно грубых, когда приветствуемому приходилось опасаться оскорбительного удара коленом.

Временами заседания Президиума омрачались пикировкой секретарей отделений практики и теории Телячьего Восторга.

Обычно во время годовых отчетов академик-секретарь Отделения практики Телячьего Восторга задавал каверзные вопросы секретарю Отделения теории Телячьего Восторга о внедрении результатов исследований в практику.

Идеи движения Телячьего Восторга были очень модны почти два столетия, что в ту эпоху примерно соответствовало активной деятельности одного поколения жителей планеты. Движение оказало большое влияние на культуру многих народов Марса. Возникли шедевры поэзии Телячьего Восторга, знаменитые произведения литературы в прозе. В многочисленных картинных галереях были собраны образцы гениальных творений блестящей плеяды художников-"восторжистов". Буйствовала музыка Телячьего Восторга.

Но все это не значит, что не было на Марсе равнодушных к этому движению и даже его яростных врагов. Противники движения имелись даже в Великом Синклите планеты. Традиции телячьего приветствия, например, так и не проникли внутрь здания Великого Синклита.

Примерно через два столетия появились серьезные признаки быстрого падения популярности идей Телячьего Восторга.

На одном из заседаний Великого Синклита были оглашены внушавшие серьезные опасения данные об угрожающем росте числа случаев инфаркта у последователей движения. И чаще всего при попытках исполнения сложного ритуала приветствия.

Уныние и пессимизм охватили ряды движения. Стали часты случаи самоубийств. Нередко находили записки, оставленные самоубийцами, в прозе и стихах примерно одинакового содержания:

Жизнь стала сера
Без восторга телячьего.
Умирать нам пора,
Больше делать нечего.

В эти невеселые дни марсианского общества снова стали активно обсуждаться проблемы жизненных ценностей.

Великий физиолог Чи-Мун издал свой манифест. Манифест этот вначале не привлек серьезного внимания широкой общественности, хотя имел претензию на "Обращение к народам Планеты". "Цель и радость жизни – в непрерывном пировании!" – так был озаглавлен манифест.

В ставшем позже знаменитым обращении Чи-Мун утверждал, что основное положение движения Телячьего Восторга – "природа указывает нам, в чем состоит радость жизни" – само по себе правильно. Но внимание обращено не на главное – в этом основная причина неудачи движения.

"Телячий Восторг, – говорилось в манифесте, – преходящ. Надо находить не временные, а непреходящие ценности. Основа жизни – это пища. Природа подарила нам тонкое ощущение вкуса. И именно в приятном ощущении вкуса пищи следует видеть и находить высшие жизненные ценности". Быстро росла популярность учения о новом понимании радостей жизни. В сознании общества произошла широкая переоценка жизненных ценностей. "Наше общество, – слышен был голос манифеста, – стало непрерывно пирующим обществом".

Марсианин давно куда-то исчез, и все даже забыли о его существовании. Перед глазами землян возникали и проходили события из жизни незнакомого народа. Картины этих событий были предельно реалистичны. Они не производили нарочито организованного представления – они были точными копиями далеких дней истории планеты, фотографически точно сохранившимися в глубинах памяти удивительного марсианина. В то же время все возникающие картины были понятны без всяких объяснений.

Не могло не привлечь внимания появившееся странное здание. Было ясно: Академия наук Фундаментальных проблем Пирования. Оно не было слишком высоким и всем своим видом напоминало красочно оформленный торт. Зодчий даже добился ощущения сладкого вкуса у зрителей.

На фронтоне здания красовался девиз: "Пирую – значит существую!"

Эпоха Непрерывного Пирования была более продолжительной, чем эпоха "Телячьего Восторга".

Со временем появились различные толкования идей и практики пирования. Эти различия также нашли свое отражение в литературе и искусстве той эпохи. Вначале речь шла о "Примитивном Пировании", и эмблемой движения служил лежащий на блюде жареный поросенок с торчащими из него ножом и вилкой. Художественное исполнение этой эмблемы можно было видеть прямо над входом в Академию.

Сторонники другого направления – "Утонченного Пирования", как они себя называли, считали эмблему грубонатуралистичной. После долгих диспутов было принято решение: "Поросенка – с блюда вон!", – и на эмблеме движения осталось только блюдо с одиноко лежащими на нем ножом и вилкой.

Сторонники "Утонченного Пирования" делились на ряд сект. Со временем наиболее многочисленными из них оказались секты "Эстетического Пирования", а позже секты "Интеллектуального Пирования", "Платонического Пирования", "Сексуального Пирования".

Теперь лишь абстрактно нарисованная пустая тарелка могла бы стать эмблемой, объединяющей столь разнообразные течения.

Марсиане стали терпимы к самым различным направлениям в практике пирования. Первоначальная идея пирования настолько растворилась в своих многочисленных проявлениях, что, по существу, общество вернулось к древней фазе, предшествующей периоду Телячьего Восторга.

Нельзя пройти мимо целой эпохи в истории жителей Марса, в которой само собой сложилось понимание проблем жизненных ценностей, существенно отличное от всего того, что обсуждалось в прошлом и даже в будущем во Всемарсианском Комитете Проблем Жизненных Ценностей.

Со временем возникла точка зрения, согласно которой человеческое счастье, жизненные ценности вообще определяются не только самим субъектом, а в существенной части – внешней средой. Условия, в которых протекает жизнь человека, должны создавать ощущение ценности жизни. Этого можно достичь, в частности, если все окружающее человека способно вызывать состояние, близкое к блаженству. Речь идет, таким образом, о создании в высшей степени комфортных условий существования. Идея комфорта определила целый этап в развитии общества. Больших успехов достигла техника высшего комфорта. Сенсацией стало, например, появление изумительной машины по сверхнежному почесыванию пяток. Эту операцию машина проделывала так искусно, что марсиане, особенно дамы, были просто без ума от восторга.

Но машина, созданная для ковыряния в носу, затмила все до нее сделанное в технике высшего комфорта.

Поначалу автор этого изобретения предложил далеко не совершенный робот. Он явился объектом плохо скрываемых насмешек в таком солидном научном журнале, как "Проблемы утонченного комфорта". "Нужна ли нам эта механическая нянька, – задавал вопрос один из авторов полемических статей журнала, – задача которой ходить среди нас и утирать нам носы?" Но десятки лет работы изобретателя над совершенствованием своей технической идеи в корне изменили отношение общества к этому действительно самому блестящему изобретению века. Теперь это был уже не бродячий услужливый робот, а невидимая, правда, сложнейшая, установка, незаметно для глаза вмонтированная в стенку комнаты. И теперь не жесткий ноготь пальца механического робота орудовал в носу, а деликатный лазерный луч... Но главное, установка сама чувствовала момент необходимости своего вмешательства в нос присутствующего в комнате человека. Она находила его среди сколь угодно многочисленного собрания. И операция производилась в самый нужный момент, математически определяе-

мый установкой; она и доставляла необъяснимое наслаждение обрабатываемому носу. Операция завершалась, если это необходимо, чиханием разных степеней удовольствия и утиранием носа – процессом, совершенно незаметным для окружающих. Но главное, выяснилось, что эта установка оказала существенное влияние на культуру, на историю общества вообще. Со временем стало ясно, что нос – это не просто нос. Он выполняет наряду с мозгом высшие функции познавательной способности человека. Старые, казалось бы, не очень содержательные фразы, бытовавшие в народе, такие, как "чует нос, чем дело пахнет", и особенно "держать нос по ветру", на самом деле полны глубочайшего смысла.

В результате многолетнего использования носоочистительных установок носопознавательная деятельность достигла небывалых высот. Часто жители Марса достигали грандиозных успехов в обществе исключительно с помощью одного только носа, полностью выключая мыслительные функции головного мозга.

Возможность совершенствования комфорта, казалось, не имеет своего предела, не имеет предела и блаженство, доставляемое комфортом. Девиз "Блаженствую – значит существую" стал девизом эпохи. Но, достигнув своего апогея, миновало и увлечение комфортом. Постепенно комфорт стал приобретать черты роскоши. Был принят закон против излишеств роскоши. Стали модными идеи "опрощения". Дело дошло до ликвидации всех носоочистительных установок. Когда на одном публичном заседании Великого Синклита его председатель стал демонстративно ковырять в носу указательным пальцем правой руки, вся аудитория, встав, встретила этот жест аплодисментами"».

В этот вечер в авторском коллективе купе возникла заметная неудовлетворенность литературным творчеством предыдущих дней. Началось это с замечания Вали.

– Я думала, – сказала Валя, – что мы создадим фантастическую картину будущего человечества, а пока речь идет о вещах приземленных.

Вале вторил журналист. Он напомнил закон Юлия Цезаря, изданный в 22 году до нашей юры, – закон, в котором речь шла о предельных размерах расходов на стол, одежду, убранства. Этот закон затем был дополнен Августом. Об этом сообщается в "Анналах" Корнелия Тацита. В эпоху императора Тиберия вспоминали, что закон Юлия Цезаря о предельных расходах ни во что не ставился. Сам Тиберий был озабочен стремительным ростом роскоши среди элиты Римского государства и мерами восстановления силы закона Юлия Цезаря. "С чего начать? – спрашивал Тиберий в своем письме к сенату. – Что запретить или ограничить, возвращаясь к прежним обычаям? Огромные размеры загородных домов? Число рабов и их принадлежность к множеству различных племен? Вес золотой и серебряной утвари? Чудеса, созданные в бронзе и на картинах? Одинаковые одеяния мужчин и женщин? (Чтобы не "унижать мужское достоинство шелковыми одеждами женщин", требующих больших денежных затрат.)"

Правда, Тиберий в этом известном письме просил сенат освободить его от попыток возродить закон против роскоши, полагая, что его усилия в существующих условиях окажутся неэффективными.

Валя, между прочим, напомнила, что в начале рассказа ее марсианин имел вид, существенно отличный от человеческого. Если древние марсиане по своему типу не отличались от земных людей, то в истории Марса должна была произойти какая-то эволюция в развитии его обитателей.

– Я знаю, – сказал доктор, – как продолжить рассказ. – Видимо, именно мне следует описать эволюцию в развитии организма марсианина, которая произошла в условиях почти миллионолетних достижений марсианских науки, техники и, конечно, медицины.

Иногда в технических и научных вопросах я буду, вероятно, безрассудно смел. Может быть, это и к лучшему, так как профан может осмелиться сказать то, на что не решится специалист.

«– Со временем наши ученые, – продолжал доктор рассказ марсианина, – разработали питательные вещества, которые без остатка усваивались организмом. Искусственное питание медленно завоевывало признание, и в то время, о котором идет речь, лишь незначительные слои общества восприняли это новшество.

К сожалению, скоро выяснилось, что пищеварительный тракт, лишенный возможности выполнять свои функции, стал источником новых неожиданных заболеваний. Хирурги давно думали над операцией по удалению желудочно-кишечного тракта, но практика долго не выходила за пределы лабораторных опытов над морскими свинками и крысами. Но вот знаменитый хирург Ле-Ко Младший произвел на себе смелую операцию удаления внутренностей. После операции у Ле-Ко вместо желудочно-кишечного тракта оставалось лишь несколько сантиметров толстых кишок, осуществляющих всасывание питательной жидкости. Ле-Ко, которого в течение почти двухсот лет знали упитанным и дородным, о животе которого ходило столько анекдотов, явился на заседание Верховного Синклита в подчеркнуто затянутом сюртуке. Теперь талия Ле-Ко измерялась сантиметрами. Ле-Ко сделал блестящий доклад о значении операции в общей проблеме продления жизни.

"В длинном ряде Веков Благоденствия, – так начал свой доклад Ле-Ко, – гармоничное развитие индивидуумов как в физическом, так и в духовном отношении, успехи медицины в борьбе с различными заболеваниями привели к десятикратному увеличению средней продолжительности жизни жителей планеты.

Вы знаете также, – напомнил Ле-Ко, – что в течение последних тридцати тысячелетий не было достигнуто заметного прогресса в борьбе за долголетие. Средняя продолжительность жизни по-прежнему составляет шестьсот лет. По-видимому, естественные возможности, заложенные в нашем организме, исчерпаны, и в работах над проблемой № 1 следует искать принципиально новый путь. Я вижу эти новые возможности в искусственных, но рациональных изменениях в структуре нашего организма".

По оценкам Ле-Ко, средняя продолжительность жизни организма после удаления внутренностей достигнет тысячи лет. Ле-Ко развил фантастические перспективы работ в этом направлении. Он говорил о возможности, правда в далеком будущем, замены почек и даже сердца искусственными механизмами. Со временем,

фантазировал Ле-Ко, исчезнет и необходимость в продолжении рода, атрофируется половая система. В сущности, Ле-Ко намекал на возможность потенциального бессмертия.

Доклад сопровождался наглядным сравнением рентгеновских снимков хирурга Ле-Ко и члена Великого Синклита добродушного толстяка Ко-Ле, южанина, любившего хорошо поесть.

Многое из того, что говорил Ле-Ко о будущей программе исследований по проблеме № 1, в то время не было оценено в полной мере. Прогнозы Ле-Ко воспринимались как не очень существенные украшения основного текста доклада, как художественные рамки, в которые заключен сам по себе фантастический рассказ о блестящем реальном эксперименте.

Доклад Ле-Ко произвел потрясающее впечатление. На севере планеты возникло мощное движение "За ликвидацию внутренностей".

Руководство движением обратилось к населению с просьбой добровольно участвовать в эксперименте массовой проверки идей Ле-Ко. На этот призыв откликнулись пятьдесят тысяч добровольцев.

Пятьдесят тысяч марсиан, как говорится в декларации движения, "изъявили желание возложить свои внутренности на алтарь прогресса". За короткое время сформировалось такое общественное мнение вокруг идей Ле-Ко, что иметь внутренности считалось позорным. Этот "пережиток варварства" клеймился на всех заседаниях Синклита, во всех общественных местах федерации. Марсиане, имевшие внутренности, стали затягиваться в корсеты, носить широкие плащи, чтобы скрыть свой позорный "пережиток".

Но не так было на юге планеты. Южане хранили гробовое молчание. В то время как на севере создавались хирургические пункты, где буквально конвейером шли операции Ле-Ко, на юге Марса, казалось, ничто не изменилось. Здесь жители огромных районов не только не употребляли питательных пилюль, но, как и в доисторические времена, набивали свои желудки всякой отвратительной снедью. На травянистых лугах бродили тучные отары овец, тысячи ферм доставляли миллионы свиных окороков, на огромных площадях возделывали ячмень, из которого производили реки веселящего эликсира.

Внешне ничто не изменилось на просторах южных провинций, но недовольство политикой Верховного Синклита, подпавшего под влияние севера, нарастало. Когда же Верховный Синклит, анализируя массовые данные относительно операций Ле-Ко, постановил признать операции по методу Ле-Ко успешными и рекомендовал всем марсианам в добровольном порядке произвести удаление внутренностей, южане начали открыто проводить раскольническую деятельность, которая закончилась выходом южан из Объединения.

Во всей этой истории особенно коварная роль принадлежала Ко-Ле.

Ко-Ле, представляя южан в Верховном Синклите, на словах соглашался со всеми его решениями. На последнем заседании Ко-Ле и возглавляемая им группа южан единогласно вместе со всеми членами Синклита подписали обращение ко всем марсианам, которое, как в нем говорилось, знаменовало новую эру в истории марсиан, новый важнейший этап на пути завоевания бессмертия. Но, вернувшись на юг, Ко-Ле открыто объявил о создании Южного Великого Синклита, о выходе юга

из Объединения, о решительном несогласии южан с "политикой ликвидации внутренностей", принятой на последних заседаниях Великого Синклита.

Для руководителей северян, воодушевленных идеями бессмертия, действия южан были полной неожиданностью.

Делегация северян, посланная на юг для разъяснения прогрессивной позиции Синклита, возвратилась обескураженная полным провалом. Казалось, что безнадежно потерян общий язык, ясные логические аргументы утратили свою силу. Возникли взаимные упреки в неискренности, выдвигались нелепые подозрения.

Южане упрекали северян в диктате, северяне ссылались на тексты резолюции, где говорилось "рекомендовать в добровольном порядке..." Но южане стояли на своем. Волна демонстраций прокатилась по городам южных районов. Демонстранты несли знамена, на которых были изображены свиные окорока и бутылки веселящего эликсира.

Свиной окорок и бутылка веселящего эликсира стали эмблемой южан. Изображение ее появилось в петлицах, на кокардах, на стягах официальных празднеств.

В сатирических изданиях севера и юга появились обидные карикатуры. Северяне именовались "тонкобрюхими извергами", а южане "обжорами" и "чревоугодниками".

Наиболее реакционные круги южан стали выдвигать агрессивные лозунги: "Диктат северян – враг наших внутренностей!", "Южане, наши желудки в опасности!", "Ни сантиметра кишок тонкобрюхим!", "Существование севера – смертельная угроза нашим желудкам!"

Все попытки северян договориться с югом оказались безрезультатными. Их многочисленные торжественные декларации, где подчеркивалась полная добровольность операции, где выражалась лишь уверенность, что очевидные достоинства операции и значение ее для будущего разумных существ в их борьбе за бессмертие постепенно, без всякого давления извне завоюют в конце концов полное признание, оказались бесполезными.

Южане были глухи к декларациям. Появились сведения об их военных приготовлениях. Возникла служба разведки. Раскрылись тайные организации южан в северных районах. Обнаружилось даже участие в них некоторых северян, в свое время подвергнутых операции Ле-Ко.

Но самыми потрясающими были сведения разведки о начавшемся на юге производстве различного давно забытого вооружения.

В целях контрмеры на севере пришлось также создать военную индустрию.

И вот было получено ошеломляющее известие: ранним утром многочисленные моторизованные и танковые части южан пересекли границу северных районов и неудержимо двигались к их столице, городу Разума.

Официальная пропаганда южан прямо заявила, что смертельная опасность, нависшая над населением Марса, привела к решимости одним ударом покончить с "тонкобрюхими выродками – врагами цивилизации". Плохо организованные и слабо подготовленные силы северян были быстро разбиты и дезорганизованы. Полчища "обжор" быстро приближались к стенам города Разума. Конец, казалось, был неизбежен.

В ходе сражений военное руководство той и другой сторон неоднократно давало указания пустить в дело некое сверхоружие, но в последние моменты приказы отменялись Великими Синклитами, случайным большинством.

Южане хвастливо объявили, что город Разума будет уничтожен в День веселящего эликсира – популярнейшего на юге праздника.

Утро этого дня все воинство южан начало с грандиозного пиршества. Северяне умело воспользовались ситуацией: войска южан были быстро рассеяны. В то же время Верховный Синклит отдал приказ осуществить массированный шквал из сверхоружия по соответствующим базам противника. Военные базы были взорваны, вместе с ними уничтожены огромные населенные районы южан. Их руководство пыталось спастись бегством в космическое пространство, но, как сообщалось в военной сводке, было застигнуто космическими ракетами северян и уничтожено.

Южане были вынуждены согласиться на безоговорочную капитуляцию.

Во избежание повторения подобных событий было признано необходимым подвергнуть все население юга операции Ле-Ко. Примерно лет через пять все жители Марса прошли через эту, как ее называли шутники, "космическую" процедуру.

Значительно изменились условия существования Марса. Раньше тратились колоссальные усилия на организацию сельского хозяйства, скотоводства, рыболовства, пищевой промышленности и создание индустриальной базы для всей этой многосторонней деятельности. Теперь многое оказалось ненужным, подлежало разрушению и уничтожению. И эта деятельность получила название "очищение планеты от скотства".

Прошло еще несколько лет. Науки и искусства достигли невиданного расцвета. На очередном заседании Синклита Ле-Ко был избран его председателем. День знаменательного выступления Ле-Ко на заседании Синклита, столь сильно изменивший судьбу марсиан, было решено считать праздничным днем.

Так был установлен знаменитый Праздник Освобождения от Чрева.

Вся группа землян во главе с Петром Николаевичем наблюдала праздник с террас этажей Дворца Судеб. Слева от них на одной из ближайших террас находился молодой Он – Вице-Президент Великого Синклита, один из тех, кто принимал парад. Ниже, на трибуне, в кресле восседал Великий Ле-Ко.

Манифестацию жителей города Разума возглавляла колонна Лауреатов Тонкой Талии. Обращала на себя внимание красочная объемная фигура чревоугодника Ко-Ле. В одной руке он держал бутылку веселящего эликсира, в другой – огромный кусок свиного окорока. Время от времени Ко-Ле подносил ко рту то бутылку эликсира, то кусок окорока. Движения фигуры казались очень нелепыми и смешными. Транспаранты оповещали об "очистке" планеты – уничтожении за ненадобностью десятков миллиардов различного рода консервных банок, о разрушении ста тысяч мукомольных мельниц, хлебозаводов, десятка тысяч консервных заводов.

За короткий срок был потоплен колоссальный рыболовный флот. Взорваны гигантские заводы сельскохозяйственных машин.

Вихри "очистительных" разрушений пронеслись по планете, и теперь она выглядела радостной и обновленной».

«По словам марсианина, – включился в нить рассказа инженер, – Дворец Судеб, где Он проводил свои дни, являлся в то же время архивом дел Верховного Синклита.

Его заинтересовала папка с секретным шифром, содержащая отчеты о попытках связи южан с планетой Икс.

В официальной истории о планете Икс и ее обитателях данных было очень мало.

Как это следовало из материалов секретной папки, контакты с разумными существами планеты Икс возникли за много лет до эры Ле-Ко, когда наступили Века Благоденствия.

На радиостанциях обратили внимание на странные помехи, которые регулярно появлялись в приемных устройствах. Они возникали через точно измеренные временны́е интервалы и начинались с шести сигналов. Три из них тождественные по длительности. Три – разные по длительности и форме. Вначале шел короткий сигнал "первого рода", потом сигнал более длительный – "второго рода". Потом краткий сигнал первого рода. Потом сигнал еще большей длительности – "третьего рода" и опять два коротких сигнала первого рода. После паузы начиналась вторая серия сигналов, в которой число коротких сигналов постепенно возрастало. Но группы их как бы соединялись только двумя различными сигналами "второго" и "третьего рода". Математики выдвинули идею о том, что в этих сигналах записаны правила сложения чисел.

Они утверждали, что второй и третий сигналы означают соответственно знаки "плюс" и "равно", а короткие – единицы. Первая группа сигналов – это запись: $1 + 1 = 2$. Таким образом, все группы сигналов – от первой до седьмой – были расшифрованы.

Наблюдения показали, что сигналы исходят от одной трудно обнаруживаемой небольшой планеты Солнечной системы. Оказались удачными и попытки послать ответные сигналы. Последующие сигналы "неизвестных", как их вначале именовали, продлились до суммы 14. А после окончания сигналов этого рода шли сигналы, которые долго не поддавались расшифровке. Но существенные изменения сигналов "неизвестных" после попытки связи рассматривались нами как подтверждение приема посланных с Марса импульсов.

Когда был создан специальный Институт космической связи, расшифровка сигналов пошла быстрыми темпами. Постепенно выработался своеобразный язык для обозначения линий, площади, объема геометрических фигур. Был расшифрован сигнал, в котором в правой части уравнения всегда присутствовало число 2, а левая часть состояла из трех чисел, соединенных знаками сложения и вычитания. Это была запись знаменитой топологической формулы Эйлера о выпуклых многогранниках: $a - b + c = 2$, где a – число вершин выпуклого многогранника (куба, пирамиды и т.д.); b – число его ребер; c – число граней.

В течение многолетней совместной работы с "неизвестными" возникла возможность получения довольно широкой взаимной информации.

Выяснилось, что сигналы от этой малой планеты Икс, как ее стали называть на Марсе, идут несколько меньше часа. По своим размерам она существенно меньше

Луны, обладает плотной влажной атмосферой, вечно закрыта густой облачностью, создающей парниковый эффект, в условиях которого возникли и развились биологические организмы. Иксяне очень интересовались климатическими условиями на Марсе, поражались его размерами и огромным населением. Все население планеты Икс не превышало одного миллиона.

– Нас удивляло – продолжал рассказ марсианин, – что население иксян оставалось неизменным последние полмиллиона лет.

Радиограмма, в которой иксяне попросили разрешения посетить нашу планету, сильно озадачила Великий Синклит. В непрерывных заседаниях обсуждался текст ответа. Первый вариант ответа был уклончивым и откладывал решение на будущее.

Просьбы иксян неоднократно повторялись. В последней радиограмме они сообщали, что космическая экспедиция из десяти иксян находится в пути. Корабль в основном использует солнечное гравитационное притяжение. Экспедиция состоит из добровольцев, которые знают, что у них недостаточно горючего, чтобы когда-либо вернуться на планету Икс.

Если за время своего следования экспедиция не получит радиограммы марсиан о запрещении посетить их планету, то она прибудет на Марс в точно заданное, сообщаемое в радиограмме время. В радиограмме сообщалось также, что экспедиция доставит на Марс бесконечно ценный для марсиан подарок, который, как подчеркивалось, марсиане будут помнить на протяжении всей своей будущей истории. О характере подарка ничего не было сказано.

Вначале Синклит принял решение, предложенное Отоном, директором Бюро порядка: непрошеных гостей не принимать. Непрошеных – потому что, несмотря на радиограмму, запрещающую экспедиции посещение Марса, корабль иксян, по данным радиоразведки, продолжал свое движение на марсианском направлении, не отвечая на посланный категорический запрет. Отон считал подозрительной настойчивость просьбы иксян. Поскольку из взаимной информации стало ясно, что климатические условия на планете Икс не очень благоприятны для жизни и к тому же эта малая планета перенаселена, то вечно подозрительный Отон высказал предположение, что настойчивое желание иксян посетить Марс, очень вероятно, объясняется чисто экспансионистскими намерениями. Кроме того, мы не знаем, сказал Отон, нет ли среди нас предателей, их сообщников. Тут директор Бюро порядка так выразительно посмотрел на каждого из присутствующих, что все члены Синклита почувствовали себя неловко. Из-за исключительной подозрительности, высокомерия и властности Отон не пользовался популярностью на планете. Ходили слухи, что дни его как директора Бюро порядка уже сочтены. Даже называли имена его преемников. Это были более молодые заместители директора – элегантный, несколько экспансивный Нот и общий любимец населения добродушный, огромного роста Тон.

Нот и Тон были настроены менее агрессивно, чем Отон. Не исключено, говорили они, что иксяне летят действительно с миссией доброй воли и что прямые контакты с ними будут полезны для науки и народного хозяйства.

Кроме того, еще можно ждать ответной радиограммы иксян.

В случае же появления иксян без ответной радиограммы они предложили принять серьезные меры предосторожности. К тому же вряд ли большую опасность представляет группа иксян, состоящая из десяти лиц.

В своем окончательном решении Синклит принял предложение Тона и Нота, несмотря на энергичные протесты Отона.

Уже в конце заседания пришло "чрезвычайное сообщение" из пунктов наблюдений: космический корабль приближается к Марсу.

На вечернем заседании Синклита Тон и Нот зачитали составленный ими план предосторожностей. Он был прост: в строго секретном порядке сотня марсиан из Гвардии порядка располагается в своем здании вблизи Дворца Синклитов. Отряду дается категорический приказ немедленно окружить и уничтожить пришельцев в случае появления на большом табло казармы розового сигнала. В случае зеленого сигнала приказ об уничтожении отменяется. Команды, какой сигнал включать, отдаются совместно Тоном и Нотом из строго секретной комнаты Сигнального пункта.

Корабль приближался. Дежурившие в секретной комнате Тон и Нот взяли на себя ответственность нажать зеленую клавишу.

Площадь Синклитов – место прибытия ожидаемых иксян – была декорирована огромным ковром. Широкая ковровая дорожка вела к Главному входу Дворца Синклитов.

Уже с утра улицы и переулки вокруг площади до отказа заполнились марсианами. Возбужденно обсуждалось предстоящее событие. Женщин особенно занимал возможный внешний вид неведомых существ с загадочной планеты Икс. Как всегда, возникали беспричинные споры, иногда переходящие во взаимные оскорбления – отголоски прежних неприязненных отношений. Рождались гипотезы, сыпались шутки. Пошли в ход анекдоты, как всегда, неизвестных авторов. Передавали с ухмылкой "верные сведения", будто иксяне безобразны, как дядя Ню. Безобразие Ню, одного из старейших жителей планеты, было действительно анекдотическим.

Ему шла шестая сотня лет. Его маленькое горбатое ссохшееся тельце с кривыми ногами, руками, обезображенными подагрическими наростами, вечно раздраженное, всегда чем-то недовольное морщинистое лицо как-то естественно вызывали не сочувствие, а непроизвольную улыбку, смысл которой Ню хорошо понимал, с годами ожесточаясь и становясь все более смешным и жалким.

Претенциозная яркая одежда, которой он пытался как-то компенсировать свои физические недостатки, только усиливала неприязненное к нему отношение. Тем не менее Ню был общепризнан как величайший физиолог планеты, величайший за всю ее историю. Впрочем, название той научной области, которой он посвятил всю свою жизнь, тоже звучало как насмешка над Ню: геронтология.

Ню был автором многочисленных разнообразных и по-настоящему глубоких открытий. Они, правда, имели отношение к геронтологии лишь постольку, поскольку были связаны с охраной организма марсиан от внешних опасностей. Сокровенная же мечта Ню изменить сам организм марсианина, превратить его в существо неограниченно долго живущее, так и осталась нереализованной.

Часто после его блестящих научных сообщений создавалось впечатление, будто он уже близок к решению задачи. Но потом выяснялись новые трудности.

Читая на стенде Академии наук объявление об очередном докладе Ню, как обычно озаглавленном "К вопросу о геронтологии", студенты недовольно повторяли: "Опять "К вопросу о..." Когда же возникнет это самое "о"?

Число учеников, а тем более энтузиастов – последователей Ню в его лаборатории физиологии Академии наук – с годами становилось все меньше и меньше. Ко времени описываемых событий лишь несколько далеко не блестящих молодых специалистов да еще пара, как он, упорных энтузиастов бродили по пустым кабинетам и аудиториям некогда знаменитой лаборатории...

Точно в назначенное время в небе появился ярко освещенный солнцем большой металлический цилиндр, который вскоре мягко опустился на гостеприимно приготовленный ковер. Как лепестки розы, раскрылись стенки цилиндра, и взору толпы предстали долгожданные существа – десять посланцев далекой планеты. Внешне каждый напоминал фигуру демона с известной картины Врубеля.

Демоны изумительной красоты со смущенной доброжелательной улыбкой смотрели на окруживших их марсиан...

Марсиане потом вспоминали, что вначале возникло красочное пятно. Пятно переливалось всеми цветами спектра и не сразу дифференцировалось на отдельные существа. Существа казались одетыми в странные одежды самых разнообразных цветов от ослепительно-белого, красного, желтого до благородно-пепельного.

Но вскоре обнаружилось, что это не одежда, а крылья пришельцев. Когда крылья, как по команде, сложились у них за спиной, перед марсианами предстали существа мужского пола, полностью лишенные одежды.

Гром аплодисментов раздался над площадью. Это было естественно, так как происходящее напоминало невиданный по красочности спектакль, который неожиданно начинает разыгрываться перед зрительным залом.

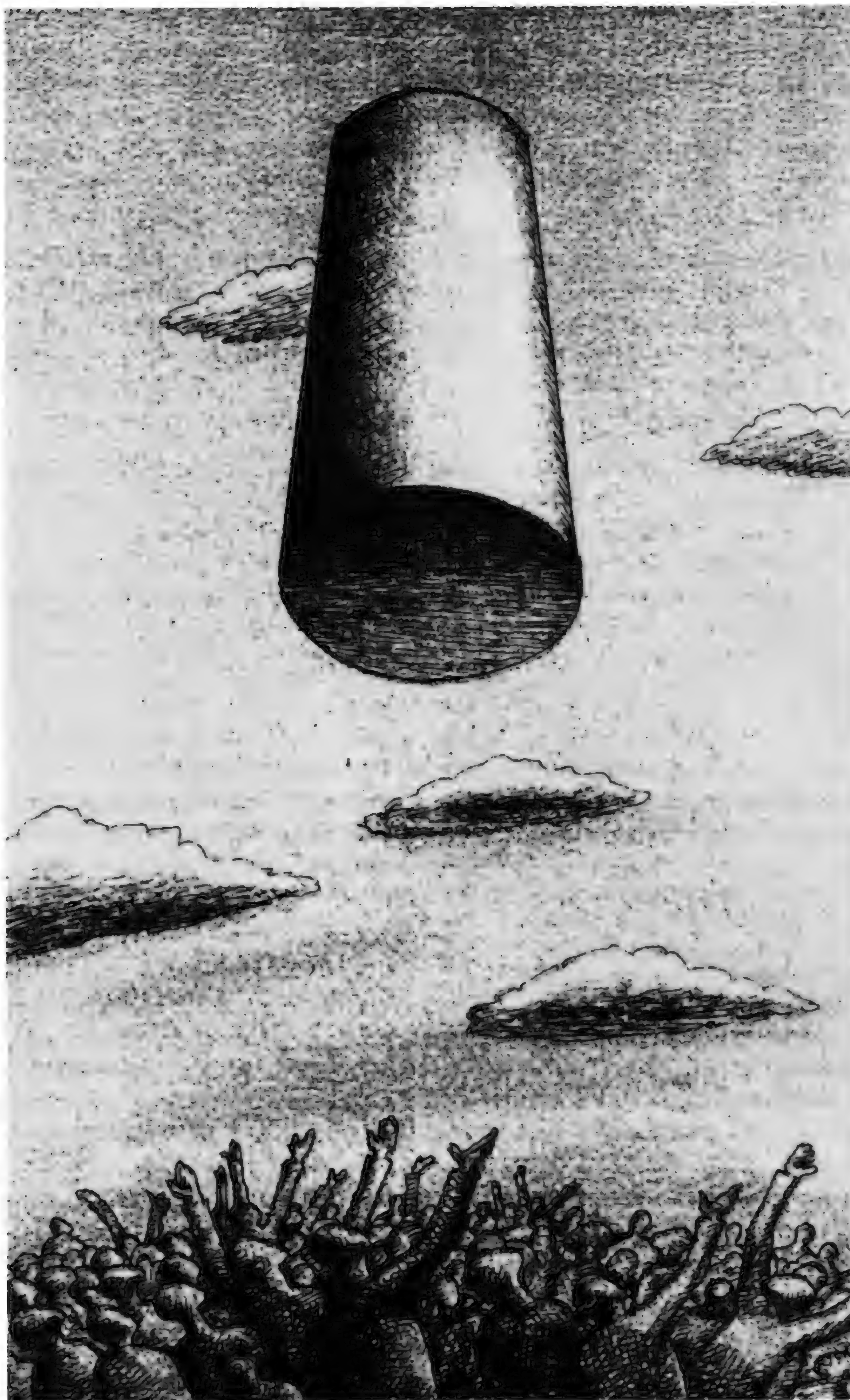
На некоторое время произошло замешательство, так как не было четко расписанной программы приема. Стороны с любопытством рассматривали друг друга. В толпе слышались замечания, комментарии. Бойкая Ин – жена Нота театральным шепотом сообщала подружке, что ей "ужасно нравится вот тот крайний, розовый блондин..."

Вдруг вся группа расправила крылья и взмыла вверх в торжественном полете – на небольшой высоте они плавно кружились над аплодирующей толпой. Полет продолжался недолго. Давала себя знать редкая, непривычная для иксян атмосфера Марса. Группа опустилась на ковер, зябко укутываясь крыльями. Теперь вся группа выглядела не столь торжественно, и какой-то насмешник довольно громко назвал пришельцев "цыплятами". У недоброжелателей и остряков это слово долго еще было в ходу.

Руководивший приемом элегантный Нот широким жестом пригласил пришельцев следовать за собой в здание Верховного Синклита. Для марсиан здесь было непривычно тепло и влажно, но эти условия в какой-то степени напоминали условия жизни на планете Икс.

Возникла непринужденная беседа между пришельцами и аудиторией. "Розовый" уже оживленно болтал с Ин.

Пришельцы выглядели существами неопределенного возраста, где-то между тридцатью–тридцатью пятью годами. Обращал на себя внимание пришелец в бело-



серебряных крыльях с повязкой такого же цвета в черных кудрях. Почему-то казалось, что именно он и есть, говоря по-земному, глава делегации.

Не сдержав своего любопытства, кто-то из толпы извиняясь, обратился к Среброкрылому с вопросом о его возрасте, имея в виду возраст, соответствующий марсианским или земным годам.

Многим вопрос показался неуместным, даже бестактным. Но ответ потряс аудиторию:

– Я вступил в мой стотысячный двести тридцать четвертый год.

Аудитория пришла в необычайное волнение:

– Мы не ослышались? Правильно ли мы вас поняли? Правильно ли перевели вашу мысль на марсианский язык? – Вопросы сыпались за вопросами.

– Во избежание недоразумений, – сказал Среброкрылый, – я напишу цифру на доске.

На черной доске аудитории появилась четкая запись: 1 002 34.

Наступила тишина. Вдруг раздался резкий неприятный голос:

– Ложь... – я утверждаю, – это ложь! – Голос принадлежал старому Ню. – Ложь, ложь, еще раз ложь! С какой целью нас вводят в заблуждение? Я требую ответа.

Назревал скандал.

Маленький безобидный Ню привычно вскочил на кафедру и продолжал исступленно кричать:

– Я посвятил двести с лишним лет изучению физиологии живого организма. Я утверждаю со всей категоричностью: у живого организма нет и не может быть таких жизненных резервов.

Ню встал в картинную позу и простер правую руку по направлению к Среброкрылому, как бы делая первый выпад шпаги в начавшейся дуэли.

– Нам известны все ваши работы, глубокоуважаемый коллега, – спокойно начал свою речь Среброкрылый. – Мы их очень ценим. В результате ваших работ достигнуто предельно возможное для организма долголетие. Я имею в виду живого организма как такового, состоящего из живых клеток. Но беда в том, что ваши работы не касаются самого существенного в строении организма. В отличие от вас мы поняли, что процесс старения запрограммирован в материале самой живой клетки и задача истинной геронтологии – не только обнаружить механизм программирования старения, но и изменить эту программу. Только активное изменение программы во всех клетках живого организма обеспечило нам успех. Вы правы, дорогой коллега, действительно, не нарушая сложившейся в клетках схемы программирования, нельзя добиться большей продолжительности жизни, чем сделали это вы. На вашем пути вы действительно сделали все, что было возможно.

Ню слушал речь Среброкрылого с исступленным вниманием. И вдруг из его груди вырвался истерический крик: "А... А... А... А... Я же знал!.. Я же знал!" Он бил себя кулаком по голове и, продолжая голосить, выбежал из аудитории.

Среброкрылый еще долго говорил о научных работах на планете Икс, приведших к таким блестящим результатам.

– У нас нет научных секретов, – закончил свою речь Среброкрылый. – Мы расскажем вам о конкретных деталях наших работ. Мы привезли вам неограниченное долголетие. Это и есть дар планеты Икс Марсу, о котором упоминалось в радиограмме.

Последние слова Среброкрылого вызвали долгие, нескончаемые аплодисменты.

– После двухдневного отдыха, в 10 часов утра мы начнем цикл лекций по основам геронтологии, – объявил Среброкрылый.

Еще долго после ухода иксян шумела толпа в коридорах Дворца Великого Синклита и на улицах города.

На другой день выяснилось, что Ню, поспешно сбежав с собрания после дискуссии со Среброкрылым, вихрем мчался по улицам города по направлению к своей лаборатории физиологии, непрерывно выкрикивая одну и ту же фразу: "Я знал! Я знал!.."

Известно, что Ню целую ночь провел за работой в лаборатории, и днем его трудно было узнать: он стал совсем другим. На его лице появились умиротворенность и спокойствие. Исчезли резкость и неприятная желчность в разговорах. Он только загадочно улыбался – впервые за последние сотни лет.

Когда ему сообщили, что Среброкрылый через два дня начинает курс лекций по геронтологии, получили неожиданный ответ в прежнем заносчивом тоне: "Чему эти цыплята могут меня научить?.. Я знал все это сто пятьдесят лет назад. За ночь я восстановил в памяти мои открытия... Лишь случайно увлекшись другими направлениями в физиологии, я не использовал свои открытия на практике... Цыплята прилетят и улетят... А я... я... подарю вам истинное бессмертие!.."

Два дня гости с планеты Икс отдыхали в городе и его окрестностях. Они посещали музеи, театры, встречались с известными писателями, художниками. Но с большим удовольствием гости посещали частные дома гостеприимных марсиан. Иксяне оказались очень любвеобильными, да и марсианки не отличались большой строгостью поведения. Муж и жена нередко с большими подробностями обменивались свежим опытом. И на этот раз Ин встретила Нота оживленным рассказом о Розовом:

– Ты знаешь, Нот, он очень мил, этот розовый крылатый мальчик... Кстати, ты знаешь, что он сказал?.. Он сказал, что они действительно подарят нам бессмертие. Он говорил что-то относительно Ню... "Будьте осторожны с его идеями, – сказал он... – Ню был когда-то очень близок к открытию возможности бессмертия, но его идеи несовершенны и даже опасны". Этот Розовый мальчик... – не успела закончить свою фразу Ин, как увидела непривычно искаженное лицо всегда деликатного Нота.

– Розовый мальчик говоришь? – злобой звучал голос Нота. – Мальчик, которому, вероятно, сто тысяч лет! Хорош мальчик!

На этот раз Нот не собирался слушать излияния Ин.

– Но все же он мальчик! Нежный мальчик! – не сдавалась Ин.

– Не знаю, что хорошего ты нашла в этом ископаемом цыпленке.

– Цыпленке? – взвизгнула Ин. – Да знаешь ли ты, что этот цыпленок...

– Что? Что ты хочешь сказать?! – гремел Нот.

Назревал скандал, которого еще не было в этой семье.

– Я хочу сказать... Я хочу сказать, – рыдала Ин. – Мне надоело класть с собой в кровать бубенцы и будильник...

Нот стукнул кулаком по столу так, что на пол посыпались осколки великолепной вазы, стоявшей на столе, вазы, которой дорожили в этом доме и так восхищались знакомые. Нот выбежал из дома, хлопнув дверью с такой силой, что осколки разбитого стекла осыпали Ин с ног до головы. Дело в том, что Ин была относительно молода, а организм Нота в сильной степени изношен, и требовались различного рода стимуляторы, имплантированные в разные части его тела. При движении металлические вводные концы стимуляторов иногда слабо звенели. К тому же Нот обладал большой сонливостью, и один из аккумуляторов имплантаторов действительно питал подвешенный микроскопический будильник. Упоминание о "бубенцах" и "будильнике" раньше звучало милой шуткой. Но в разыгравшемся конфликте прежняя шутка стала язвительным упреком, оружием нападения, больно ранившим Нота.

К тому же он опаздывал на Командный пункт, где должен был закрепить сигнал отбоя.

Дело в том, что осторожности ради чрезвычайные меры не были отменены до вторичной встречи с крылатыми, когда они, как обещалось, преподнесут в своих лекциях подарок бессмертия.

"Бубенцы! Будильник!" – механически повторял Нот всю дорогу до Пункта.

В строго секретной комнате на столе пульта – две клавиши. Нажатие одной из них – команда "отбой", другой – "атака". "Бубенцы! Будильник! – все более и более возбуждаясь, повторял Нот. – Розовый мальчик! Я тебе покажу такого Розового мальчика!" – зарычал Нот и нечаянно ударил кулаком по розовой клавише. Это была команда "атаки".

Поняв, что случилось непоправимое, Нот решил, что у него остается лишь один выход – "малая заноза". (Так мрачные шутники называли способ приведения в исполнение приговора к смертной казни за тягчайшие антигосударственные преступления путем слабого укола ядовитой булавкой в большой палец левой руки... Даже старожилы не помнят, когда в последний раз на планете возникла необходимость в "малой занозе". О ней упоминалось лишь в старинных легендах и полузабытых сказках.) Нот сделал себе роковой укол.

Через несколько секунд появился Тон, чтобы по уставу вместе с Нотом закрепить клавишу отбоя. Он увидел мертвого Нота и нажатую розовую клавишу. С криками "К оружию! Нас предали!" – Тон бежал к площади Синклитов.

В это время на площади Синклитов разыгрывалась своя трагедия. Отряд Сотни порядка, дежуривший в казарме, получив розовый сигнал, приступил к операции. Из окон казармы было видно, как вся группа иксян направилась в здание Академии наук, где было объявлено о начале первой лекции Среброкрылого. Площадь заполнялась марсианами.

Иксяне уже вступили на ковер. Несколько секунд понадобилось отряду, чтобы окружить их.

Прибежавший Тон кричал в толпу: "К оружию, нас предали!"

Тон был любимцем народа. Ему предрекали в скором будущем место директора Бюро порядка, а может быть, и председателя Великого Синклита. Огромного роста, Тон возвышался над толпой. Его громовой голос "К оружию! Нас предали!" наэлектризовал толпу. Тон указывал пальцем на инопланетян. Подчиняясь инстинкту стадности, толпа, как единое чудовище, приступила к действию. "Бей их, бей их! – ревела толпа. – Бей!"

Первой жертвой оказалась Сотня порядка. Этот островок чуждой для толпы структуры в первую очередь привлек ее внимание и был мгновенно уничтожен, растоптан обезумевшим чудовищем. В свалке погибли и крылатые. Когда все было кончено, чудовище распалось на отдельных мирных жителей города, спешащих побыстрее подальше уйти от опустевшей площади Синклитов. На площади остался лишь один огромный безумный Тон. Вокруг него летали разноцветные перья крыльев пришельцев с далекой планеты Икс.

Синклит, собравшийся на внеочередное чрезвычайное заседание, был подавлен случившимися событиями. Безумный Тон не мог прояснить ситуацию. Он только выкрикивал отдельные несвязные слова: "Нас предали! К оружию!" Иногда вдруг: "Нот мертв!" К тому же догорало здание Секретного Пункта Управления; Тон, выбегая из пункта, случайно устроил короткое замыкание проводов, и взрыв хранившейся в этом здании горючей пленки совершенно его разрушил.

У Синклита не было никаких оснований для вынесения какого-либо суждения. Лишь злобный Отон торжествовал:

– Я предупреждал, – не уставал бросать он молчавшему Синклиту, – я предлагал не санкционировать приглашение!

Члены Синклита сидели удрученные, никто даже и не возразил, что никакого приглашения иксянам не было послано. Но когда председатель Синклита вспомнил предложение Отона об уничтожении пришельцев, он, глядя в упор на Отона, одной фразой прекратил его монолог: "А может быть, это ты, Отон, привел к исполнению свое предложение?" Но у Отона было абсолютное алиби: все это время и два предыдущих дня он находился на непрерывном заседании Синклита. Кроме того, погибла вся Сотня порядка, преданная Отону, единственное, на чем он держался на посту директора Бюро порядка.

В эти дни Верховному Синклиту так и не удалось установить причину происшедшего события. Его члены недоуменно задавали себе один и тот же вопрос: "С чего все началось? Что лишило рассудка Тона, сверхуравновешенного Тона, столь известного своей осторожностью и осмотрительностью? А как погиб Нот? Как возник пожар в Центральном Бюро порядка?"

Ин также ничего не могла сообщить о последних минутах Нота. Она чистосердечно призналась, что у них произошла семейная ссора. Правда, умолчав о предмете, вызвавшем гнев мужа. Сквозь рыдания, которыми часто прерывался разговор, иногда слышалась фраза: "Боже, как мне жалко Розовокрылого!"

Только спустя несколько лет на вершине соседней скалы нашли кассету с лентой звуко- и фотозаписи. В целях предосторожности в Центральном Бюро, как и на заседании Синклита, всегда непрерывно работал механический "свидетель". Полагали, что "свидетель" тоже сгорел.

Найденная тяжелая кассета, видимо, силой взрыва была отброшена на большое расстояние. И таким образом спустя несколько лет удалось восстановить всю цепь событий, дополнив недостающие звенья достаточно правдоподобной логической структурой.

Возвращаясь к дням чрезвычайных заседаний Великого Синклита, посвященных инциденту с Крылатыми, надо сказать, что только секретарь Синклита, неисправимый бюрократ по прозвищу "Крючок", не принимал участия в общей дискуссии. В редкие минуты гнетущего молчания и тишины он повторял одну и ту же фразу: "Что будем сообщать?"

Все понимали смысл фразы. Только один из престарелых членов Синклита, возникнув из сонного небытия, переспросил секретаря:

– Что сообщать? Куда сообщать?

"Крючок" размеренным скрипучим голосом разъяснил:

– Руководству планеты Икс...

Секретарь уже давно держал в руке текст составленного им сообщения.

– Я много раз, – сказал марсианин, – просматривал и прослушивал это место пленки "свидетеля".

Предложенный секретарем текст звучал таким образом:

"Руководству планеты Икс!

Настоящим сообщаем, что в результате возникшего по неопознанным причинам инцидента погибла вся группа ваших сограждан, высадившихся на нашей планете.

Написано мною по поручению Великого Синклита.

С совершенным почтением остаюсь секретарь Синклита такой-то".

Дискуссия на заседании снова оживилась, проснулись все уснувшие члены Великого Синклита.

– Почему такое необычное обращение – "Руководству планеты Икс", – слышался чей-то голос в звукозаписи.

– А к кому же изволите обращаться, – парировал замечание секретарь. – Мы не знаем структуры общества планеты Икс, но если есть общество, то обязательно должно быть и руководство...

Кто-то предложил заменить это обращение фразой: "Дорогие коллеги!"

– Коллеги... товарищи, – рявкнул утробным голосом грузный Са-Ба. – Они крылатые, мы нет! Гусь свинье не товарищ!

Эта фраза очень обидела члена Синклита, известного в то время поэта:

– Это оскорбление нашего народа!.. Я протестую!.. – кричал он. – Пусть "свидетель" не пропустит запись моего протеста!

Пленка сильно пострадала от времени, многое из записи стерлось.

Но главное, как заметил председатель Синклита, это сухое послание – информация, носит, скорее, характер объявления войны Крылатым.

Была создана комиссия, которой было предписано составить дипломатическое послание на планету Икс.

Послание было составлено и послано. И все же, как заметил председатель Синклита, следует опасаться мести Крылатых. Как оказалось в дальнейшем, опасения председателя имели под собой известные основания.

Месть Крылатых во многом определила дальнейшую историю нашей планеты и судьбу ее обитателей.

Сигнал со скоростью света покрывает расстояние от планеты Икс до нашей планеты примерно за час. И вот как раз после соответствующего расчетного времени на нашу планету обрушились мощные удары электромагнитных импульсов, которые разрушили многие жизненно важные для планеты установки. Лишь случайно не пострадали центральные источники электроэнергии. Оказалось, что над ними автоматически возникало некоторое силовое поле, которое отражало в обратном направлении приходящий электромагнитный импульс.

Была создана специальная "служба Икс" – служба наблюдений над электромагнитными импульсами, направленными на нашу планету. Было точно установлено, что эти импульсы действительно с планеты Икс. Случайно обнаруженное свойство наших установок отражать электромагнитные импульсы дало нам возможность спроектировать и построить глобальную защиту нашей планеты. К сожалению, эту защиту необходимо было все время совершенствовать и усиливать по мере того, как усиливались импульсы, посылаемые Крылатыми.

Старый Отон, директор Бюро порядка, продолжал настаивать на своей идее о том, что прибытие Крылатых связано совсем не с мирными намерениями, он не уставал повторять мысль о малости планеты Икс, ее большой перенаселенности. Не случайно в высказываниях Крылатых сквозило восхищение просторами Марса. Постепенно точка зрения Отона стала почти официальной и общепринятой.

Вскоре погибшему при случайных обстоятельствах Тону был сооружен грандиозный памятник как спасителю марсианской цивилизации.

Однако несколько лет спустя против такой версии прилета Крылатых резко и энергично выступил Ню. В одной из своих лекций по геронтологии он заявил, что Крылатые прилетели с доброй целью: они несли марсианам бессмертие.

Вначале не только официальные лица в марсианской администрации, но и общественность порицали эти выступления Ню. Ситуация, однако, постепенно изменилась, когда на заседании Президиума Академии наук Ню заявил, что им получено полное подтверждение всего сказанного Крылатыми относительно возможности изменить программу старения в клетках организма и что он убежден в справедливости сообщения Среброкрылого о его стотысячелетнем возрасте. Далее Ню сделал сенсационное сообщение: он не только воспроизвел свои старые опыты и теоретические соображения о запрограммированости старости в клетках организма, но и нашел эффективные способы замены кода, замены этой программы на обратную вплоть до ремиссии старости, вплоть до запрограммирования омоложения. Более того, он будто бы произвел эту замену во всех клетках своего организма.

– Я несу вам не только бессмертие, но и возвращение молодости, – закончил Ню свой доклад.

Многие жалели старого Ню, в прошлом блестящего ученого. Пошли по планете и злые шутки. Говорили, что "горбатенький" бегает голым по улицам Великого города, кричит: "Мамочка, роди меня обратно!"

Но когда увидели, что горб Ню постепенно исчезает, а лысая голова покрылась серебристыми кудрями, насмешки сменились глубоким почтением и восхищением.

Ню получил титул "Ню Величайший".

Его появление в общественных местах встречалось аплодисментами.

По его инициативе был поставлен памятник десяти Крылатым в натуральную величину и натуральной окраски. Около фигуры Розовокрылого часто можно было видеть Ин. У дам по всей планете возникла мода украшать прически разноцветными перьями Крылатых – они в каком-то количестве еще сохранились.

Институт физиологии, руководимый Ню, превратился в огромное учреждение. Десятки тысяч сотрудников работали в его многочисленных лабораториях.

Ню зачислял в штат института только самых престарелых жителей планеты – они проходили изобретенную им перестройку клеток организма и постепенно омолаживались.

Свой институт Ню называл "фабрикой омоложения".

Хотя Великий Синклит необычайно высоко оценил научные достижения Ню, все-таки он проявлял некоторую осторожность, считая, что требуется длительная проверка временем открытия величайшего ученого, и скупо выдавал так называемые "лицензии на омоложение" жителям планеты, не работающим непосредственно в институте физиологии.

Эта предусмотрительность Великого Синклита оказалась более чем уместной. Дело в том, что продолжавшийся, и надо сказать быстро, процесс омоложения Ню сопровождался и своеобразным изменением его психики, характера. Он постепенно становился буквально таким, каким был в прошлом. Вначале в его речи появились давно забытые архаизмы. Правда, говорили, что это своеобразное щегольство Ню своей молодостью. Но постепенно трансформация психики Ню, вернее, его мозговых клеток, зашла настолько далеко, что научные достижения последних лет стали выпадать из его памяти.

Более того, на одном заседании Синклита, где рассматривался план работы Института физиологии на ближайшие годы, сильно помолодевший Ню с большим пафосом и настойчивостью предлагал именно тот план работ, который уже рекомендовался им, как установил его секретарь по протоколам Синклита, более ста пятидесяти лет назад.

Синклит был потрясен случившимся. Наступило гробовое молчание. Лишь Ню в горделивой позе стоял на кафедре – он воспринимал тишину как знак глубочайшего внимания аудитории к его докладу, смелым полетам его мысли. Председатель Синклита скороговоркой привычно поблагодарил докладчика за блестящий доклад и перенес обсуждение плана работ института на следующее заседание. Когда улыбающийся, довольный своим выступлением Ню покинул зал заседаний, в зале долго царила глубокая, гнетущая тишина.

Экстренное заседание Великого Синклита продолжалось всю ночь. Отон выступал с резкой критикой деятельности Великого Синклита. Он напомнил о своих старых подозрениях относительно намерений и целей Крылатых. "Теперь ясно, что коварный замысел Крылатых был направлен на уничтожение населения планеты. Не бессмертие несли нам Крылатые, – закончил свою речь Отон, – совсем не бессмертие... Они ловко подбросили нам лжеидею, и мы почти попались на эту приманку. Полюбуйтесь, какой памятник мы создали крылатым убийцам!" –

И Отон указал на большое окно. В красочной световой подсветке стояла группа Крылатых, она как бы незваной явилась сюда, чтобы присутствовать на заседании Синклита.

На следующий же день по приказанию Синклита памятник Крылатым был уничтожен. Но еще многие годы можно было видеть Ин, грустно бродящую по площади с большим букетом розовых гвоздик.

Надо отдать справедливость одному из старейших членов Синклита – Ону. Он один-единственный поднял голос против обвинительного акта Крылатым. Известный автор последнего свода законов планеты, тонкий знаток судопроизводства обратил внимание на то, что Крылатые обещали только бессмертие, а отнюдь не омоложение организма. Более того, сам Ню, открывший полтораста лет назад экспериментальные возможности изменения кода старения, прекратил дальнейшие исследования из-за боязни безостановочного развития обратного процесса. Он вскользь упоминал об этом в одной из своих первых лекций после инцидента с Крылатыми. Но только бросил фразу о том, что само существование бессмертных Крылатых экспериментально опровергает эти страхи.

К этому времени на планете практически не оставалось ни одного квалифицированного физиолога, который в какой-то степени мог оценить значение этих чисто юридических замечаний.

Сам Ню за короткое время вернулся в свое далекое прошлое, когда был бесшабашным кутилой и волокитой, проводя время в компании таких же, как он, омоложенных.

Ню и его друзья жили в каком-то фантастическом, нереальном мире. Иногда поздней ночью с гитарой в руках Ню вставал перед балконом замка, где несколько сот лет назад жила одна из его возлюбленных, и в звуках не лишенного красоты баритона воскрешались старинные песни любви. Но, увы, многие замки были пусты. Лишь однажды на балкон вышло старое сморщенное существо – в прошлом первая красавица Вечного города – Ли. Она внимательно ловила забытые звуки. Сбегавшая временами по морщинистым щекам слеза свидетельствовала о глубокой взволнованности. Муж Ли попытался грубо вмешаться в странную идиллию, бросив фразу: "Сейчас же останови этот неприличный балаган сумасшедшего забулдыги!" Но Ли только грустно, почти шепотом просительно сказала сквозь слезы: "Не мешай мне хоть немножко насладиться прошлым".

Когда молодеющие вступили в детский возраст, специальным решением Синклита в одном райском месте планеты было организовано нечто вроде заповедника с квалифицированным обслуживающим персоналом. В народе заповедник получил название "Ню-атника". Посторонним вход в него был строго запрещен.

Как-то на заседании Великого Синклита было высказано пожелание взглянуть на то, что осталось от "Ню Величайшего". На заседании была доставлена колыбель, в которой, улыбаясь, лежал прелестный ребенок. Он смотрел на присутствующих большими васильковыми глазами и лепетал что-то невнятное. Но тут же его тельце стало быстро уменьшаться. Присутствующие невольно отвели взгляды от колыбели, а вскоре колыбель оказалась слегка влажной и пустой...

Все события воспроизводились настолько реалистично, что Петр Николаевич и его спутники как бы принимали в них непосредственное участие. Давно не было видно сказочного марсианина в черном плаще и цилиндре.

Но невидимый, он без слов делал понятными не только все происходящее, но и всплывавшие в сознании воспоминания о прошлом, а также различные необходимые комментарии к событиям.

Идя по улице какого-то древнего города, существовавшего сотни тысяч лет назад, земляне понимали, что в одном здании находится "Банк человеческих конечностей", а в здании напротив – "Банк печени". Петр Николаевич непроизвольно подумал, что хорошо бы зайти в "Банк печени" и заменить свою не очень здоровую "печенку". Во время этих прогулок одно воспоминание часто беспокоило Петра Николаевича.

Зачем только он дал обещание декану биофака университета выступить в ближайшую среду с большим факультетским докладом, открывающим зимнюю учебу студентов?! Особенно острое беспокойство Петр Николаевич почувствовал, когда очутился перед зданием "Клиники искусственного сердца". И доклад-то должен был быть на тему "Проблемы искусственного сердца".

Потом, конечно, Петр Николаевич не мог понять, как и каким образом в этот момент он оказался в кабинете своей московской квартиры.

Всю неделю происходили какие-то необъяснимые события, и Петр Николаевич уже отвык чему-либо удивляться.

На покрытом пылью письменном столе лежала открытка, извещавшая о его докладе. Звонил обеспокоенный Александр Николаевич Накедов, декан биофака. Он выразил большое удовольствие, застав Петра Николаевича дома. Без конца повторял, что звонил многократно, а телефон молчал... По слухам, он, Петр Николаевич, уехал к себе на родину, в Тарасовку, где-то в Центрально-Черноземном районе, а лекция очень нужна. С начала учебного года и так многое не ладится. В университетской многотиражке помещено стихотворение, которое кончается обидными стихами: "Деканат, деканат, деканатушка, эх, зачем родила тебя матушка!"

Вообще-то студенты с юмором критиковали работу деканата. Благодушное отношение к декану выражалось в том, что, читая его фамилию справа налево, студенты значительно поднимали большой палец правой руки, говоря: "Во декан!"

Назойливо тренькал электрический звонок входной двери. Петр Николаевич вспомнил, что Матвеевны нет – она там... и надо идти самому открывать дверь.

Кучер ректора университета Григорий Матвеевич почтительно доложил, что лошади поданы. Дорóгой Григорий Матвеевич с досадой поведал Петру Николаевичу свою обиду на кучера Михаила Семеновича (Мишку). У Григория Матвеевича возникли серьезные подозрения, что Мишка просто надул его. Ведь как он упрашивал одолжить ему до понедельника два червонца. "До понедельника!" – повторил Михаил Семенович, подчеркивая последние слова, даже обернулся и выдержал значительную паузу для большей убедительности последних слов.

Сидя на своем кучерском месте спиной к Петру Николаевичу, Григорий Матвеевич долго что-то ворчал, но Петр Николаевич в конце концов сумел отключиться от всего, что мешало ему думать о предстоящей лекции.

Заключительная часть вступления как-то не удавалась. Заключительную же часть монолога кучера Петр Николаевич все же расслышал: "Уплыли мои червонцы!"

Лекцию Петра Николаевича ждали с нетерпением. Ходили слухи, что ученый близок к созданию искусственного сердца. Ничего подобного в ту пору в мире не замышлялось. Аудитория была плотно заполнена студентами, аспирантами и научными работниками. Но, увы, лекция не оправдала ожиданий слушателей.

По словам сотрудников Петра Николаевича, должна была демонстрироваться модель искусственного сердца. Когда же, подготавливая лекцию, лаборант Виталий Морозов смонтировал демонстрационную установку и с гордостью показал ее Петру Николаевичу, тот небрежно сбросил в ящик все ее детали. "Не то... не то... совсем не то!" – непонятным бормотанием сопровождал профессор свои действия.

А ведь только три недели назад профессор предупреждал Виталия о крайней необходимости подготовки модели искусственного сердца и даже досрочно вызвал его из отпуска.

Неожиданно для аудитории профессор почти совсем не коснулся в лекции проблем искусственного сердца. Только одной фразой он подчеркнул, что эти проблемы трудны не только технически. Здесь в его лекции возникла какая-то пауза. Профессор, видимо, хотел пояснить последнюю мысль, но передумал. Потом он долго и в отличие от своих обычных лекций не очень понятно говорил о биологических, физиологических возможностях продления жизни человека. И закончил лекцию фразой, прозвучавшей не очень убедительно: "Если есть где-то во Вселенной, – сказал Петр Николаевич, – более высокая цивилизация, чем земная, то я убежден, что проблемы геронтологии решаются ею не на пути механизации человеческого организма, а на пути его глубокой чисто биологической перестройки. Но работы по механизации человеческого организма, – продолжал профессор, – конечно, будут вестись, человек будет согласен на любую механизацию своего организма, если она обещает продлить его существование, дает ему надежду еще какое-то время не исчезнуть физически..." Но фраза эта звучала совсем не в той тональности, в которой профессор, бывало, заканчивал свои лекции о перспективах замены внутренних органов человеческого организма, выполняющих жизненно важные функции, может быть, сложной, но искусственной аппаратурой.

Сотрудники Петра Николаевича, глубоко разочарованные лекцией, долго обсуждали дальнейшую судьбу лаборатории. По-видимому, у Морозова рухнули надежды на магистерскую диссертацию. Под вопросом могли оказаться начатые работы и других сотрудников. Обсуждалась даже возможность перехода на работу в другие лаборатории, например к Александру Васильевичу Игнатову.

Володя Туманов, хорошо знавший состояние дел в лаборатории Игнатова, сказал кратко: "Александр Васильевич сильно постарел за последние годы... – и заключил: – А.В. уже мышей не ловит!"

Тем временем в деканат явился кучер Григорий и сообщил странную новость, будто Петр Николаевич по дороге домой исчез из коляски.

Действительно, правя лошадью, Григорий продолжал свой монолог о двух червонцах. Профессор молчал. Когда же Григорий случайно оглянулся, профессора в коляске не было...

Особенно активно происшествие обсуждалось в машинописном бюро. Старшая машинистка Лидия Николаевна Овсеенко громогласно заявила: "Ищите женщину!" Другие сотрудники стали активно возражать, указывая на более чем почтенный возраст профессора. Лидия Николаевна яростно защищала свое предположение. Она говорила, что профессор давно вдов, одинок, и она его не порицает.

Потом накал дискуссии значительно возрос, и почти все машинописное бюро ополчилось на Лидию Николаевну. Тут она сама перешла в активное наступление на бунтующую аудиторию. В заключение она с высокомерным видом презрительным тоном бросила фразу: "Что я не вижу, слепая, что ли, как вы все вокруг него крутитесь? Не вышло!" И, обидно покачивая бедрами, вышла из комнаты...

Не зная, что делать, Миша одиноко бродил по улицам древнего Марса.

Давно, еще с начала девятнадцатого года, Миша стал своим человеком в семье Петра Николаевича. Тогда он работал кучером в Наркомпросе. Как-то он получил поручение привезти в наркомат Петра Николаевича Андреева. Ему было сказано, что сделать это надо повежливее, что Петр Николаевич очень крупный ученый – слова "крупный ученый" были повторены дважды.

Петр Николаевич, видимо, несколько задержался на работе, и Миша скучал, ожидая его перед зданием университета. Шел дождь с мокрым снегом. Сильно продрогнув в ожидании пассажира, Миша забрался внутрь своего допотопного шарабана. К нему часто обращались прохожие с настоятельной просьбой "подвезти". Частые просьбы стали раздражать Мишу, и когда кто-то несмело приоткрыл дверцу шарабана и вежливо спросил, не лошадь ли это из Наркомпроса, он резко ответил:

– Ну, лошадь, а тебе какое дело?

– Я Петр Николаевич Андреев, – сказал спросивший.

Тут Миша сильно растерялся и стал извиняться...

– Мне сказали, – обрадовался Миша, – что надо привезти очень крупного ученого...

Из "крупных ученых" Миша знал только Отто Юльевича Шмидта. Тот был ученый высокого роста с большой бородой... А здесь перед ним стоял человек совсем небольшого роста и даже без бороды...

– Извините, – повторял Миша, – мне было сказано привезти очень крупного ученого, и я не признал.

Усаживаясь в шарабан, Петр Николаевич с улыбкой сказал, что многие не признают его за крупного ученого.

Последующие встречи сблизили Мишу с семьей Петра Николаевича. В те голодные и холодные годы Миша оказался бесценным помощником Надежде Дмитриевне – жене Петра Николаевича – в решении трудных, часто неожиданных для нее проблем. В холодные зимы Миша откуда-то привозил на салазках дрова, пайки из Комиссии по улучшению быта ученых. Он умел очень экономно раскалывать книжные шкафы красного дерева на мелкие чурки для топки "буржуйки". Петр Николаевич ревниво следил, чтобы книги, вынимаемые из шкафов, не исчезали в ненасытном чреве примитивного отопительного сооружения. В конце двадцать первого года, когда Надежда Дмитриевна заболела и умерла от сыпного

тифа, Миша на время даже поселился в квартире Петра Николаевича. Петру Николаевичу пришлось взять на себя заботу и об осиротевшей племяннице четырнадцатилетней Маше.

Маша заполнила своим присутствием нелегкие дни Петра Николаевича, отвлекая его от воспоминаний о последних часах Надежды Дмитриевны, но в то же время пребывание ее в доме прибавило и новые заботы.

В памяти Петра Николаевича Надежда Дмитриевна неизменно возникала каждый раз, когда он проходил мимо рояля, стоявшего в гостиной. За роялем часто сидела Надежда Дмитриевна. Временами ему казалось, что он снова увидит ее, перелистывающую ноты. Петр Николаевич особенно любил в ее исполнении четырнадцатую сонату Бетховена.

Миша заметил, как меняется настроение Петра Николаевича, когда он долго задерживается около рояля, и у него инстинктивно возникло к роялю неприязненное чувство. Через какое-то время рояль исчез. Миша самовольно выменял его на мешок муки, пару ржавых селедок, сахарин и другие дефицитные продукты.

– Самогон-первач! – сказал Миша гордо, с громким стуком опуская бутылку на стол. Петр Николаевич только укоризненно взглянул на Мишу. А совсем недавно, перед началом наступающего учебного года в университете, Петр Николаевич обратился к Мише, как он говорил, с большой просьбой: не может ли он подыскать дельного человека на должность хозлаборанта.

Начало учебного года приближалось, а Миша так и не смог выполнить просьбу Петра Николаевича.

Когда Миша увидел идущего впереди марсианина, у него появилась идея, как выполнить просьбу Петра Николаевича.

– Товарищ… э… – начал Миша заикаясь, – извините, я забыл как вас зовут-то… вот, что я вас хотел попросить… Петру Николаевичу до зарезу нужен хозлаборант… чтоб непьющий. Там бывает спирт в лаборатории, его не напасешься, если… Не знаете ли вы такого подходящего?.. Там у вас в ваших пленках все записано…

Не успел Миша закончить фразу, как марсианин исчез, как будто его и не было совсем…

– Надо же!.. – удивился Миша.

Как-то марсианин собрал всю группу Петра Николаевича, воссоздав для этого очень удобный уголок чудесного парка Великого Синклита.

– Я хотел бы рассказать вам, – начал беседу марсианин, – о важных событиях последних тысячелетий истории Марса.

Задолго до эры Ле-Ко из памяти марсиан исчезли реальные события, связанные с посещением Крылатыми нашей планеты.

В библиотеках можно было найти объемистые труды историков, в которых убедительно доказывалось, что ничего подобного никогда не было. Только в древнем фольклоре существовали легенды о Крылатых, но к ним относились как к чисто художественному творчеству. К тому же в этих легендах реальные события древности неузнаваемо деформировались.

Имя физиолога Ню не упоминалось. Его нельзя было найти ни в каких справочниках, тем более в официальных документах. Под многовековым запретом

находилось развитие и той ветви в физиологии, о которой говорилось в секретной папке с материалам о визите Крылатых. Такова оказалась реакция на научные неудачи Ню.

Из материалов этой папки я узнал, что вожди лагеря чревоугодников своими идеалами считали взятые из старых легенд идеалы Крылатых, которые в их изложении кратко формулировались как "стремление к гармоническому развитию духа и тела". Отсутствие какой-либо конкретной программы этого, как они называли, "второго пути усовершенствования организмов мыслящих существ" дало основание сторонникам Ле-Ко квалифицировать эти выступления как неприкрытую демагогию и обман, так как, согласно учению Ле-Ко, большие естественные возможности организма по увеличению продолжительности жизни были исчерпаны еще в Веках Благоденствия.

Из материала папки я также узнал, что группа Ле-Ко, улетевшая на космических кораблях, не была уничтожена войсками севера. Дозорные космические корабли сообщили, что вооруженные силы севера достигли беглецов вблизи защитных сфер какой-то планеты, где развернулось сражение.

Наши дозорные корабли видели мгновенную мобилизацию жителей планеты. Затем последовал мощный ответный удар со стороны Марса, уничтоживший все космические корабли. Остались только принятые радиосводки дозорных космонавтов. Видимо, речь шла о планете Икс.

Причины враждебного отношения планеты Икс к Марсу были марсианами полностью забыты, но время от времени на Марсе ощущались попытки иксян какими-то сильными электромагнитными возмущениями уничтожить марсианскую цивилизацию. Со временем эти попытки сильно интенсифицировались.

Совершенствовались и защитные устройства марсиан. В конце концов поиски новых возможностей для защиты планеты от возрастающих враждебных действий иксян стали основной задачей, смыслом жизни и деятельности цивилизации Марса.

Выдающиеся историки марсианской цивилизации, философы, психологи оказались не в состоянии описать древнейшие эпохи истории планеты.

При описании эпохи "Телячьего Восторга" ученые так и не могли договориться о смысле термина "восторг". Одни утверждали, что термин "восторг" означает ряд психических заболеваний. Другие выдвигали гипотезы, согласно которым речь идет о некотором своеобразном поведении индивидуумов, регламентированном строгими, возможно, секретными указами.

Некоторых ученых ставило в тупик слово" телячьего". Синтаксически, по построению фразы, оно как будто бы играет роль какого-то пояснения. Но какого? Ряд блестящих диссертаций крупнейших ученых, посвященных этому вопросу, не внес в проблему желаемой ясности.

А девиза "Наше дело телячье", который будто бы красовался на здании Академии Телячьего Восторга, на самом деле никогда не существовало, что было с исчерпывающей полнотой доказано в одном выдающемся исследовании.

Непреодолимые трудности возникли также при описании эпохи "Всеобщего Пирования".

Когда марсиане поддерживали свою жизнедеятельность путем превращения любой массы вещества в энергетическое состояние, понятие "вкуса" лишилось

своего смысла, и лозунг "Пирую – значит существую" оказался недоступным для научного толкования.

Правда, в одном из нашумевших исследований автор утверждал, что есть какое-то тонкое вкусовое различие между энергией, получаемой из куска гранита и из банана. Но параллельные исследовательские работы показали ошибочность упомянутого утверждения.

Эра Ле-Ко была очень длительной. Она характеризовалась колоссальными успехами в точных науках. Наши возможности использования энергии, заключенной в веществе, стали фантастическими.

В одной из ваших сказок, кажется, синица хвасталась, что может море зажечь. Мы научились зажигать и сжигать полностью вещество в любом его виде, полностью превращать любую массу в активное энергетическое состояние. При этом в согласии с известной вам формулой Эйнштейна освобождаемая энергия в сотни раз больше той, которая может возникнуть в ядерных реакциях.

Были найдены такие простые пути для получения энергии за счет полного превращения массы вещества, такие элементарные преобразователи энергии, что наша индустрия, которая до эры Ле-Ко была нагромождением гигантских сооружений, бесконечно упростилась. Освобождение от чрева повлекло за собой, если можно так сказать, деиндустриализацию. Исчезла необходимость в большом числе различных сельскохозяйственных и промышленных отраслей. Ушли в прошлое некогда сложные экологические проблемы. Резко сократилась и, в сущности, исчезла потребность в металлах.

С другой стороны, высвободившиеся от решения промышленных задач огромные творческие силы народа, используя новые достижения, смогли упростить процессы и основы оставшихся индустрий, в результате чего они становились все надежнее и – я хотел бы употребить это слово – "миниатюрнее".

Я не могу входить в детали изумительных открытий, которые постепенно привели к такому своеобразному расцвету энергетически мощной и в то же время миниатюрной индустрии.

Моя попытка изложить суть теорий и используемых физических эффектов не нашла бы соответствующих слов и понятий на земном языке.

Представьте себе, что вы, сидя у пещерного костра, попытались бы вашему доисторическому предку изложить основы квантовой теории или, допустим даже, техники говорящего кино. Вы меня извините за сравнение, но если вы вспомните темпы развития вашей науки за сто последних лет и учтете, что эпоха Ле-Ко длилась сотни тысяч лет и что еще в начале этой эпохи наша цивилизация была на несколько тысячелетий старше вашей, вы поймете мои затруднения. В сущности, я буду сообщать очень поверхностные факты и результативные эффекты научных достижений в эпоху Ле-Ко. С точки зрения ваших представлений они часто нелепы. Ваши ученые легко могут доказать, что они просто невозможны. Кажется, Форд когда-то писал, что если бы он захотел сделать самую большую пакость своим конкурентам, то посоветовал бы им набрать на работу в своих предприятиях много очень знающих специалистов: им с самого начала была бы очевидна невозможность любого нового предложения. Излагая современную физику в древнегреческой аудитории, наибольшие возражения вы, скорее всего, встретили бы со

стороны великого Аристотеля. Что касается миниатюризации индустрии, то некоторый слабый намек вы можете получить, вспомнив новые возможности, открывшиеся в вашей технике совсем недавно, с применением полупроводников вместо ламп.

В эпоху Ле-Ко подвергся дальнейшему изменению организм самого марсианина.

Программная речь Ле-Ко оказалась поистине вещей. От тысячелетия к тысячелетию огромная сеть научно-исследовательских институтов усовершенствования организма шаг за шагом осуществляла его, казалось, фантастические прогнозы.

Даже ваши очень несовершенные устройства позволяют во время сложных операций заменять приборами работу сердца, легких и почек. Наши врачи, физиологи и инженеры вывели сердце наружу. Оно помещалось в специальной, хорошо защищенной камере, где совершенными устройствами кровь очищалась и обогащалась кислородом.

Исчезли легкие, почки. Нам долго не удавалось заменить сердце механическим прибором. Когда же был расшифрован электромагнитный характер сигналов, идущих от нервных центров к мышцам сердца, и сконструирован простой прибор, реагирующий на эти сигналы, марсиане получили механические сердца. У каждого марсианина про запас имелось несколько сердечных систем, различных конструкций, и заменить дефектную систему новой стало процедурой не более сложной, чем вставить в розетку вилку электроприбора. По всей планете были густо разбросаны сердечно-ремонтные станции с запасами деталей сердечных систем.

Процесс механизации человеческого организма сопровождался предельной миниатюризацией всей аппаратуры, обеспечивающей его жизненные функции. Миниатюризация механизации позволила сохранить неизмененным внешний вид человека.

Приходившие в негодность, главным образом в результате травм, конечности человека легко заменялись в так называемых банках, где хранились их запасы. Однако со временем по многим причинам содержимое банков постепенно беднело, так как сильно увеличилась продолжительность жизни, а число различных аварий и травм с летальным исходом, за счет чего пополнялись запасы, становилось все более незначительным. Разведение примитивных форм человекообразных организмов для хирургических целей встретило настолько сильную оппозицию со стороны общества по охране животных, что оно было прекращено.

Поскольку механические системы внутренних органов уже давно управлялись нервными импульсами головного и спинного мозга, возникли и были реализованы идеи замены конечностей соответствующими металлическими конструкциями. Мой сегодняшний вид не маскарад с целью как-то походить на землян. Перед вами типичный представитель жителей Марса в одну из позднейших эпох его цивилизации.

Но главное направление наших дальнейших изысканий было связано с исследованием функций головного мозга, его структуры, процессов, сопровождающих мышление и электромагнитную речь.

История многих открытий потеряна, но память марсиан свято хранит тот день, когда гениальный невропатолог Ме-Ко демонстрировал в широкой аудитории

жизнь головного мозга, отделенного от тела. Это был мозг марсианина, погибшего при какой-то катастрофе.

Ме-Ко отделил мозг, включил искусственное питание, и мозг после короткого шока возобновил свою деятельность. Он явно принадлежал замкнутому, неразговорчивому и ревнивому субъекту, очень скупо отвечал на вопросы и время от времени задумчиво спрашивал: "А все же, где была жена вчера поздно вечером и что все это значит..."

Нам стали удаваться операции по замене головного мозга. В те времена, когда еще сохранялись различия в индивидуальном мышлении, создавались нетривиальные ситуации. Яркий представитель какого-либо научного течения мог, например, получить мозг своего неистового оппонента. Странно было видеть, как знакомыми жестами, которыми обычно сопровождались критические выступления, теперь подкреплялось изложение прямо противоположных концепций.

Мы старались всеми способами как можно дольше сохранять деятельность мозга, даже если тело претерпело разрушение. Ведь в мозге концентрируется весь опыт жизни существа, весь его колоссальный запас знаний, и нас буквально выводила из себя одна только мысль о том, что тот или иной блестящий представитель нашей культуры может исчезнуть. Ведь вместе с ним исчезает частица веками накопленных научных, интеллектуальных ценностей.

Вскоре подобные операции вошли в широкую практику.

Как я уже сказал ранее, мы не очень нуждались в воспроизводстве себе подобных: практически мы уже были бессмертны. Более того, создались специфические трудности с интеллектуальным развитием молодого поколения.

У вас в земных условиях при быстром старении человеческого организма зачастую ослабляется и его мыслительная деятельность. Создаются естественные ситуации, когда молодой талантливый ученик вскоре превосходит своего учителя. В середине эры Ле-Ко мозг марсианина в любом возрасте сохранял полную эффективность. В конце концов стало ясно, что молодой мозг не в состоянии не только опередить по своему развитию старшего (допустим, на тысячу лет) собрата, но даже не в силах преодолеть интеллектуальный разрыв между ними. Появилась угроза возникновения интеллектуально отсталой прослойки нашего общества.

В конце эры Ле-Ко искусства достигли вершины своего развития. Электромагнитная речь давала изумительные возможности для разнообразного, многокрасочного художественного творчества. Кумиром планеты, особенно на западе, стал художник по имени Ти-Ит. Следует сказать, что население запада отличалось известной экспансивностью. Там любили нарядные торжественные шествия, театр, в котором оживала миллионнолетняя история Марса. Вошли в обычай уютные беседы, в которых обсуждались проблемы искусства, созерцались шедевры. Интимная жизнь на западе была более фривольной. Жители других областей по сравнению с плотно населенным западом выглядели аскетами.

С некоторых пор член Великого Синклита по имени Саво-На-Рола избрал темой своих речей нападки на далеко не пуританскую жизнь населения. Фанатик, не знавший других увлечений, кроме науки, аскет – причиной его аскетизма была, очевидно, давняя травма, полученная во время опытов над фотонной ракетой, –

желчный по характеру, Саво-На-Рола своими речами напомнил марсианам давнее выступление Ле-Ко.

Тогда речь шла практически о скромных операциях желудочно-кишечного тракта, но, развивая свою программу совершенствования организма, великий хирург фантазировал. Он пророчески говорил, что когда-нибудь удастся заменить на механические легкие, почки, сердце, осуществлять смелые операции по пересадке мозга. В отдаленном будущем исчезнет необходимость в органах размножения. Примерно этими словами заканчивалась речь Ле-Ко. Эти слова сейчас повторял Саво-На-Рола и, драматически потрясая поднятой рукой, возвестил: "Теперь настало время осуществить последнее пророчество Ле-Ко".

Воодушевленный одобрением аудитории, оратор продолжал говорить об архаическом придатке организма, лишенном биологического смысла, так как марсиане уже не нуждались в воспроизведении населения планеты. Тут оратор перешел к своей излюбленной теме о развращенности, громил искусство как нечто атавистическое, антирассудочное. Он выдвинул концепцию, согласно которой искусство порождается не разумом, а органами внутренней секреции.

Саво-На-Рола говорил, что он защищает лишь программу развития общества, выкованную в жестокой борьбе с чревоугодниками, что он видит еретические тенденции в личной жизни, в искусстве, наконец, в увлечении театром, идеализирующим жизнь первобытных народов и зарождающим сомнение в правильности пути Ле-Ко. Обладая исключительным красноречием, Саво-На-Рола ярко живописал, как "еретики" собираются группами, чертят красками какие-то фигуры, обмениваются восклицаниями, словами, не идущими от разума. Призывая к операциям, которые должны привести, как он выражался, к "освобождению от страстей", он утверждал, что выступает лишь как последовательный сторонник идей Ле-Ко.

Сам Ле-Ко как-то вяло соглашался с мнениями Саво-На-Ролы, но как председатель не принимал слишком решительных мер к реализации его крайних предложений.

Медлительность Ле-Ко стала раздражать нетерпеливых последователей, и на очередном заседании Синклита один из фанатических сторонников Саво-На-Ролы непроизвольно испустил убийственный электромагнитный импульс в голову Ле-Ко. Так совершилось первое убийство за истекшие сотни тысяч лет. Это было только началом длительной междоусобицы и колоссальных взаимных истреблений.

Неистовый Саво-На-Рола метался по планете с потрясающими по силе речами против еретиков и развратников. Сила его выступлений была так велика, что порождала массовую истерию. Число сторонников Саво-На-Ролы быстро возрастало. Общество раскололось на два враждующих лагеря.

В междоусобной войне, длившейся несколько лет, еретики были побеждены. В жестокой борьбе было уничтожено более половины всего населения планеты.

Когда закончилась междоусобица, собравшийся Великий Синклит констатировал возникновение бесполого общества.

Синклит избрал своим председателем Саво-На-Ролу.

Этот день был объявлен днем праздника "Освобождение от страстей". Синклит долго обсуждал программу праздника. Ритуалы старых праздников были забыты. Историки составили многочисленные справки о характере празднований в раз-

личные исторические эпохи. Мнение Синклита сводилось к тому, что восстанавливать архаизмы не имеет смысла и что надо придумать что-то совсем новое, современное, созвучное эпохе. Было принято предложение Саво-На-Ролы.

– Я предлагаю, – сказал Саво-На-Рола проникновенным голосом – провести этот праздник под лозунгом "Радость через размышления!" Пусть каждый бессмертный получит в этот день великую радость, размышляя о чем-то самом для него приятном. Итак, бессмертные, – закончил Саво-На-Рола, – радость и еще раз радость через размышление!

Над планетой завис лозунг. Его огромные светящиеся буквы были видны отовсюду – на языке землян он читался: "Мыслю – значит существую".

Но праздник не удался: этот день был самым скучным днем за всю историю нашей планеты. Наступила новая эра в цивилизации Марса. Эра Саво-На-Ролы, которая длилась тысячи лет.

Саво-На-Рола оказался талантливым организатором. Его мероприятия привели к чудовищной интенсификации научной деятельности марсиан. Главные усилия были направлены на дальнейшее совершенствование нашего организма, в особенности мозга. В кардинально новом аспекте была разрешена проблема питания мозга. Уже давно она была сепаративной, то есть отключенной от питания тела. Это обстоятельство создавало большую свободу и легкость в заменительных операциях.

Глубокое проникновение в природу мозговых клеток дало возможность изменить механизм их питания, создать принципиально новый механизм снабжения клеток необходимой энергией непосредственно, без помощи системы кровеносных сосудов. Со временем мозг был полностью очищен от кровеносных сосудов и представлял собой чисто мыслящее вещество. Я не могу входить в детали и даже принципы, на которых основаны такие возможности. Я только сообщу результат. Мозг в физическом отношении стал совершенным прибором, преобразующим энергию, заключенную в веществе, в энергию мышления и электромагнитное излучение. К сожалению, даже эти общие слова очень далеки от того, что я хотел бы вам передать, они могут создать у вас неправильные образы и концепции, которые легко бы раскритиковывались с точки зрения земной науки. Не говорите скептически "не может быть", а примите как факт то, что наш мозг стал питаться за счет энергии, заключенной в веществе его оболочки, которая непрерывно пополнялась различными элементами из атмосферы и вещества поверхности планеты.

В ту же эпоху благодаря физическим исследованиям Саво-На-Ролы мы научились одним напряжением мысли превращать вещества в излучение – в любых ситуациях и в любой точке пространства.

Это несколько образное выражение на самом деле значит, что, умело используя электромагнитные импульсы, излучаемые нашим организмом, мы научились как бы включать соответствующие мощные реакции в окружающем нас веществе, которые и приводят к превращениям вещества в состояние излучения. Говоря техническим языком, мы нашли в природе естественные и неограниченные возможности для усиления электромагнитного импульса, испускаемого нашим мозгом. В частности, отдача от излучения давала возможность нашему телу двигаться в любом направлении, с любыми скоростями, меньшими скорости света.

В этом смысле уже в эру Саво-На-Ролы мы представляли собой как бы естественные фотонные ракеты.

На одном заседании Синклита Саво-На-Рола задал характерный для его стиля риторический вопрос: "Бессмертные, задумаемся: к чему нам конечности?"

Действительно, мы уже давно передвигались с помощью электромагнитного импульса. Наше умение в любой точке пространства создавать электромагнитный импульс любого направления намного превосходило возможности наших конечностей. Постепенно вся мышечная система как-то незаметно подменилась этим своеобразным механизмом. Соответствующей последовательностью электромагнитных импульсов могло осуществляться любое движение наших конечностей и без каких-либо мускульных усилий.

Возникновение, если так можно сказать, электромагнитной мускулатуры привело к быстро прогрессирующей атрофии мышц. В результате недолгих обсуждений предложение Саво-На-Ролы было принято и тут же намечена сеть пунктов для сдачи конечностей.

И вот друг за другом марсиане подлетали к пунктам, которые получили краткое название "Пункты разгрузки", отделялись от туловища и в виде совершенного шара улетали в пространство. Наше общество стало обществом шаров. Некогда мы были простейшими клетками, заключенными в твердые оболочки, микроскопическими шариками миллиардами роились в болотах, озерах, морях, гибли, нарождались. Настал момент, и мы снова, как простейшие, носимся шарами. Мы вышли из болот и ручейков во Вселенную. Мы плаваем, кружимся вихрем в мировом эфире, мы летим к созвездиям вместе с солнечными лучами. Мы могущественны! Мы могущественнее всех ваших гипотетических богов всех времен, вместе взятых. Мы – высшая форма организованной материи, мыслящая материя в ее чистом виде.

Легко понять, что мы давно перестали нуждаться в каких-либо жилищах, наши города давно превратились в песок. Продолжали функционировать только ставшие очень компактными вычислительные центры и обслуживающая их сравнительно небольшая индустрия.

Как музей содержалось историческое здание Дворца Судеб. К эксперименту, некогда захватившему все помыслы нашего общества, погас всякий интерес. Лишь я по старой привычке бродил по пустым залам. Время от времени включал для просмотра участки микрофильмов. Наблюдал за событиями на Земле, регистрировал привычное совпадение предсказаний с действительностью...»

– Ну что же, – сказал доктор, – Шахразаде надо и честь знать.

Но на этот раз сам доктор стал виновником бессонной ночи всего населения купе. Именно доктор начал спор, который оказался бесконечным.

– Вам, Валя, я замечаю, не нравятся эти шарики? – Доктор по обыкновению тщательно заправлял постель.

– Это просто ужасно... такое существование!

– А чего же вы ожидали, Валя? Что шарики живут в уютных комфортабельных квартирах? Утром шар долго потягивается в постели, пьет кофе со сливками, потом глубокомысленно сидит в кабинете и раскрывает тайны природы,

а шариха хлопочет по хозяйству. Вечером со всем своим семейством – шар, шариха, шарята – катятся, заметьте, катятся, в какой-нибудь великолепный театр, да? И такая, знаете ли, там трагедия: старый шар, молодая шариха, на сцену вкатывается молодой красивый шар...

– Не издевайтесь, доктор! Я совсем не это имела в виду. Просто существование ваших шаров предельно скучное. В их жизни нет никакой красоты. Сами ваши шары мерзкие-премерзкие. Вообще вы из-за своего плохого настроения удалили марсианам кишки, а потом и пошло...

– Извините, Валя, это же вы дали направление фантазии. Ваш же Сережа обнаружил какие-то трубочки вместо туловища марсианина и пластмассовый шар вместо головы. Все это, Валя, ваша идея.

– Да, но я думала, что трубочки и шар – это аппарат, а маленький, живой, марсианин сидит в пластмассовом шаре, а совсем не...

– Извините, об этом трудно было догадаться. Что касается до такого существования... то не думаете ли вы, что ваш протест – это протест дикаря против высшей культуры? Вы меня простите, Валя, но разве наш предок, пещерный житель, понял бы сразу вкус культурной жизни современного большого города? Разве даже употребление вилки и ножа не отравило бы ему красоты жизни, как он ее понимал? Вам кажется бедной и однообразной жизнь этих существ? Да? Хорошо. Но согласитесь, дикарю из племени ньям-ньям, если такое вообще существует, покажется не менее скучной и однообразной жизнь современного европейского города, где можно есть человека лишь в переносном смысле слова. Разве не покажется, скажем, любому ньям-ньямцу, что ли, ваша культурная жизнь потерявшей всякую красоту?

– Вы, доктор, любите парадоксы. Вы ужасный спорщик. И все-таки ваши шары мерзкие, и все это очень некрасиво. Разумные существа будут стремиться к красоте, будут, будут, будут...

– Доктор, нельзя забывать о красоте жизни, – солидным басом вставил журналист. – Забвение красоты отомстит за себя. Со временем, конечно.

– Ну вот, заладили: красота, красота! Долбите и долбите... Знаете, от чего погибают дятлы? – спросил доктор. – Дятлы погибают от профессиональной болезни – сотрясения мозга. Я не знаю, что такое красота вообще, – продолжал доктор, – что такое абсолютная красота. Могу напомнить слова Курбе: "Я говорю не об абсолютно прекрасном, так как я не знаю, что это такое... Оно мне кажется прекраснейшей из шуток". Вот представьте, я перед вами ставлю две фигуры – Аполлона и Сократа. – Доктор стукнул два раза кулаком по столику, как бы расставляя фигурки. – Кто из них, по-вашему, красивее?

Валя представила себе бюст Сократа, стоящий у одной из колонн институтского вестибюля. Картошкой нос, вдавленная переносица, голый, грязный от пыли и паутины череп.

– Вы сами можете ответить, – повела Валя плечами.

– Сократ, да?

– ?!

– Значит, Аполлон. Валя, кроме шуток, скажите, почему, по-вашему, Аполлон красивее Сократа, почему?

Доктор был серьезен и сосредоточенно ждал ответа.

Когда Валя убедилась, что в вопросе нет никакого подвоха, она начала перечислять, загибая пальцы:

– Во-первых, у Аполлона совершенно правильные черты лица...

– Не понимаю, что значит "правильные черты", и не понимаю, почему они красивы, если "правильны". Художник Милле спрашивает в письме к Пеллоне: "Какое из деревьев прекраснее: прямое или кривое?" Мне лично нос Сократа кажется более красивым. Я без ума от сократовского носа! – Глаза доктора весело блестели.

– Вы просто спорщик, вам только бы спорить, вам не нужна истина, – почти плача отбивалась Валя.

Доктор встал и зашагал по купе.

– А хотите знать, почему нос Аполлона кажется нам красивее? Это просто наиболее типичный человеческий нос... Бывают носы, загнутые книзу, бывают носы, задирающиеся вверх. – Доктор кивнул на журналиста. – Это крайности. Средний, обычный нос... Нос без крайностей – это нос Аполлона. Так что, Валя, поживете среди шариков, привыкнете и найдете их по-своему красивыми, даже влюбитесь в какого-нибудь.

В спор о крайностях включился журналист. Даже инженер не избежал этой участи. В общем начался типичный русский спор – спор без конца, вплоть до утра, то затухающий, то разгорающийся. Даже доктор забыл про свои часы. Спать легли на рассвете, недовольные собой и друг другом.

ДЕНЬ ШЕСТОЙ

Встали поздно, с головной болью. Пришли в себя только к вечеру.

– Не понимаю, Валя, – сказал доктор, – зачем вы приделали вашему герою ослиные уши. Вы что, в самом деле находите их красивыми? Удивительный вкус... Кажется, мы уже обкорнали марсиан полностью и забыли оставить так понравившиеся вам уши.

– Ничего, – процедила сквозь зубы Валя. Она все еще дулась на доктора за ночной спор. – С ушами я все устрою в лучшем виде. Вам не придется за них краснеть.

«Как-то, отдыхая от работы, – продолжала Валя рассказ марсианина, – я прикрепил к своему черепу нейлоновые уши, наподобие тех, которые были когда-то у древних марсиан. Эта единственная неровность на шаре, заключающем мой мозг, была мне чем-то приятна.

Скоро стали "ушастыми" все мои сотрудники по Дворцу Судеб, и мода быстро распространилась по планете.

Сам того не желая, я, оказалось, положил начало новому движению, быстро ставшему популярным на Марсе.

"Назад – к природе!" – был девиз движения. У многих марсиан, кроме ослиных ушей, появились конечности и даже иногда не металлические. Начали рядиться в костюмы, представление о которых сохранилось в нашей памяти, и в этих костюмах толпами разгуливали среди еще уцелевших развалин прежних городов.

Появились вожди этого движения, и главой их стал марсианин по имени Ти-Ит – поэт и историк. В свое время он прославился на планете своим, говоря деликатно, фривольным поведением.

В этом движении он был экстремистом. Атавистические инстинкты всецело определяли его позицию. Он дошел до того, что проповедовал идею о возвращении марсиан к деторождению.

Синклит был напуган быстрым ростом популярности движения.

На специальном заседании Саво-На-Рола квалифицировал распространившуюся мо́ду как вредную идеализацию далекого прошлого, зовущую назад к праотцам.

Я несколько увлекся в своей защите и продолжал настаивать на своей правоте. Синклит был неумолим. Резолюция гласила: "Ослиные уши позорят мыслящую материю". Правда, Синклит пошел на некоторые уступки моде, разрешив абстрактными штрихами рисовать на поверхности шара глаза, брови, нос и рот. Я был приговорен к вечному изгнанию. Приговор тут же был приведен в исполнение, и меня сбросили как Люцифера в глубокую пропасть. Когда-то очень давно на глубине сто километров была сооружена лаборатория для экспериментальных исследований, и вот я оказался заточенным в этом мрачном убежище. Проходили годы, века, тысячелетия.

Однажды у меня в убежище появился шар-марсианин. Это был знаменитый историк, поэт и астроном Ти-Ит. Он говорил со мной на странно звучавшем языке. Оказалось, что язык моей эпохи забыт, его Ти-Ит знает только "книжно". Часто я совсем не понимал своего собеседника.

В сущности, в дальнейшем мое повествование представляет собой пересказ того, что сообщил мне Ти-Ит.

Талантливый исследователь мозга по имени У-Ны-Лый много тысячелетий работал над проблемой роста мозговых клеток. В конце концов он разрешил проблему, соединив мозговое вещество разных индивидуумов. Ученый убедительно доказывал, что объединение двух или нескольких мыслящих существ мозговой тканью создает интеллект потрясающей мощи и способностей. Несмотря на настойчивые призывы У-Ны-Лого к марсианам подвергнуться эксперименту, добровольцев не находилось. Проходили столетия, а идеи У-Ны-Лого так и не реализовывались.

С годами у ученого возникла странная навязчивая мысль: он считал, что именно Председатель Верховного Синклита должен первым и в обязательном порядке подвергнуться этому эксперименту.

Деятельность Председателя Верховного Синклита необычайно многогранна. Она существенно облегчалась помощью трех генеральных советников. По мысли ученого, мозг Председателя Верховного Синклита, физически объединенный с мозгом генеральных советников, станет во много раз эффективнее, и этот эксперимент необходимо реализовать на благо народов планеты.

Будучи членом Верховного Синклита, доктор У-Ны – так его сокращенно называли – каждое свое выступление на заседаниях Синклита, чего бы оно ни касалось, заканчивал одной и той же фразой: "А кроме того, я полагаю, что Председатель должен принять мое предложение".

Однообразные и тягучие выступления У-Ны наводили тоску на членов Верховного Синклита, а У-Ны, подвесив свой шар в воздухе, часами жевал нудные речи. Члены Синклита научились его не слушать, и лишь по тому, как шар У-Ны начинал раскачиваться, аудитория знала, что оратор переходит к своему обычному предложению.

Стремительный и экспансивный Саво-На-Рола терпеть не мог У-Ны. Все знали, что сейчас Председатель начнет нервно кататься по своему креслу, бросать нетерпеливые реплики. Эти реплики будут подхватываться оратором, методично и очень логично опровергаться. И так в течение столетий.

В это время жили два известных сатирика, два разбойника пера – Го-Га и Ма-Го-Га. Они первые предложили себя в распоряжение У-Ны. И когда были соединены их мозговые ткани, появились литературные произведения, заставившие всю планету содрогаться от хохота. Это была лучшая реклама идеям доктора У-Ны.

Ученый быстро приобрел огромную популярность. После того как Саво-На-Рола погиб при испытаниях грандиозного фотонного взрыва, целью которого было расколоть одну планету на две части, доктор У-Ны был избран очередным Председателем Верховного Синклита.

Ходили слухи, что Саво-На-Рола сознательно покончил с собой. После удачного эксперимента У-Ны он считал невозможным дальнейшее сопротивление его предложению, которое теперь находило много сторонников. В то же время, обладая яркой индивидуальностью, он не желал изменить свое физическое состояние.

Идеи У-Ны оказались необычайно эффективными. У сатириков появились многочисленные последователи. Возникали образования из двух, трех, а затем и самые разнообразные комбинации из шаров, напоминающие бильярдные пирамиды, ожерелья, гирлянды.

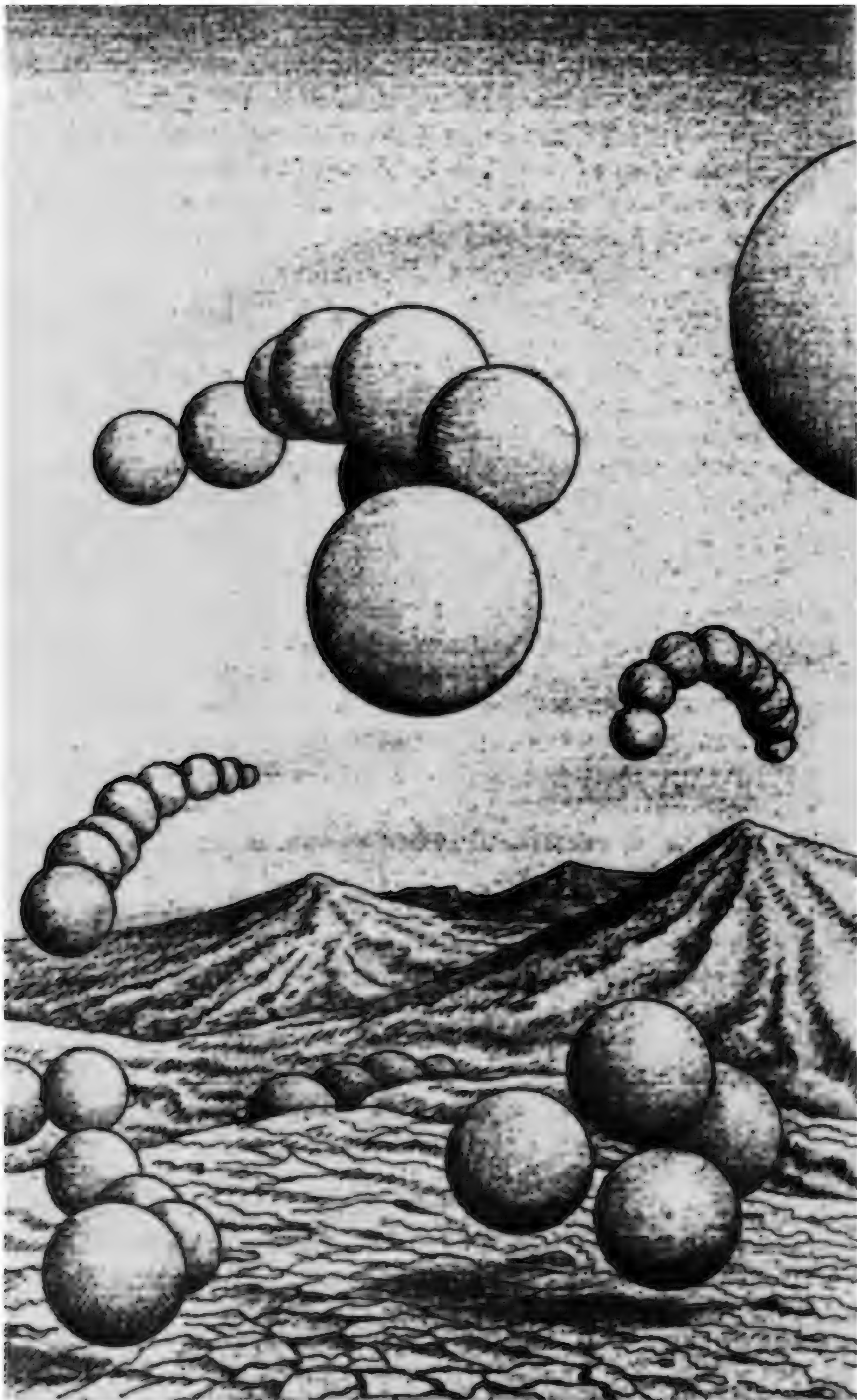
Появились таланты редкостной силы.

Но У-Ны оказался самым бездеятельным, самым бледным Председателем Великого Синклита. Со смертью Саво-На-Ролы У-Ны потерял всякую цель в жизни: тысячелетняя борьба с Саво-На-Ролой была, видимо, его единственной сильной страстью, питавшей его жизненные силы. У-Ны становился все более и более вялым и унылым. Его речи как Председателя Великого Синклита служили лишь благодатным материалом для сатирических упражнений Го-Ги-Ма-Го-Ги, как они теперь назывались.

Однажды утром У-Ны был найден мертвым в своем председательском кресле. Врачи констатировали смерть от скуки. Это был единственный вид заболевания, которое в редких случаях еще поражало марсиан.

К тому времени и возникшая мода на связки шаров стала как-то затухать: эти объединения нередко оказывались неустойчивыми. Со временем возникали внутренние разногласия, которые, как правило, кончались делением системы на прежние индивидуальности».

– Вот видите, – сказала Валя, обращаясь к доктору, – и с ушами все устроилось, а вы ворчали: уши, уши... Теперь давайте ваши уши, продолжайте.



– К сожалению, я не вижу ушей, за которые можно было бы ухватиться и тянуть нить рассказа, – размышлял вслух доктор, – хотя, кажется, в идеях У-Ны содержится логическое продолжение.

«Да, действительно, возникшие связки марсиан оказывались недолговечными, но так было до тех пор, пока Председатель Синклита не выдвинул очень смелую идею. Эта идея, в сущности, определила последний этап нашей цивилизации.

К тому времени Председатель Синклита по имени Бо-Дя-Га представлял собой объединение из пяти индивидуальных шаров.

По традиции, освященной миллионами лет, на месте, где собирался Великий Синклит, единственным подобием мебели было гранитное кресло Председателя. Остальные члены Синклита располагались прямо на земле, на открытой площадке. Миллионы лет назад на этом месте были грандиозные дворцы Великого Синклита с залами Торжественных заседаний. Но все поглотило время. Все само собой умерло, исчезло как ненужное.

В то время, о котором идет речь, Бо-Дя-Га не имел этого имени и вообще не был Председателем Синклита. Многие тысячи лет назад среди прочих астрономов умеренных способностей он ничем не выделялся. Это был дельный научный организатор. Давным-давно он создал небольшой коллектив работников средней руки, с которыми объединился мозговой тканью. И тут-то случилось чудо. Этот коллектив Бо-Дя-Ги стал буквально фейерверком блестящих идей.

За короткое время коллектив завоевал огромнейший авторитет среди марсиан, и Бо-Дя-Га занял место Председателя Синклита. Марсиане настолько привыкли к этой пятерке как к целому, что, по существу, Бо-Дя-Гой называли всю пятерку, которая и стала коллективным Председателем Великого Синклита.

В тот исторический день председательствующий, уложив шары в гранитное кресло, начал знаменитую речь издалека:

– Бессмертные! Вы все знаете историю моей жизни и жизни моих товарищей. Я, будем откровенны, не отличался в свои юные годы какими-либо дарованиями. Учился я, как вы знаете, не блестяще. Здесь присутствуют многие профессора, у которых я когда-то с трудом получал посредственные отметки. За многие тысячи лет индивидуального существования я не добился каких-либо выдающихся результатов. И что же, кем я стал?.. – Председатель выдержал ораторскую паузу. – А в чем причина? Причина в том, что мы объединились в более мощную мыслительную систему.

Может быть, коллектив присвоил себе славу какого-нибудь одного члена нашей пятерки? Вы всех нас знаете, знали еще в индивидуальном образе. Все вы помните теперь всеми уважаемого члена нашей пятерки биолога Ту-Пи-Цу. Один из шаров пятерки слегка приподнялся.

В студенческие годы, когда за ним закрепилось это имя, он доставлял много радости студенческому коллективу своей веселостью и непосредственностью. Он вызывал веселье своей небыстрой сообразительностью, всегда последним смеялся в компании, где рассказывались анекдоты. В зрелые годы наш собрат выполнял полезную работу. С его именем не были связаны ни блестящие открытия, ни удивляющая нас в других неожиданность идей. Такие же далеко не блестящие харак-

теристики вы можете дать любому члену пятерки до возникновения нашего содружества. Они не обижают нас, ибо все это относится к далекому прошлому.

Но уже в течение многих веков все стало по-другому. Где же источник успеха? Ответ на вопрос ясен и прост: объединение мозговых клеток обогатило нас большими возможностями. Значительно быстрее оценивается та или другая гипотеза, выбирается наиболее вероятная.

Вы спросите: а почему другие комбинации, более блестящих индивидуальностей, не достигли такого успеха?

Неправда, временные поразительные успехи были и в других случаях. Но яркие индивидуальности вступали между собой в конфликты: новые идеи и полученные на их основе результаты они пытались связывать с идеями своего индивидуального прошлого. Именно приоритетные тенденции всегда приводили к конфликту. Наступал кризис, объединение становилось менее эффективным и в конце концов распадалось на первоначальные индивидуальности.

В нашей пятерке прежние индивидуальности были столь неярки и незначительны, что они буквально стерлись коллективными успехами.

Анализируя богатый материал о природе творческой деятельности различных связок, мы пришли к выводу, что если бессмертные, входя в физическое объединение, забудут свои прошлые индивидуальности, то творческая деятельность интенсифицируется в необычайной степени.

Более того, нами, то есть нашей пятеркой, разработаны эффективные мозговые операции, производимые усилием нашей мысли, отдаленно напоминающие гипнотические явления, которые дают абсолютную гарантию успеха.

Как запись на магнитофонной ленте, стираясь, мгновенно бесследно исчезает, так всякая память, связанная с событиями, относящимися к прошлому данной индивидуальности, стирается, бесследно исчезает из сознания. И что замечательно, весь богатый опыт научного мышления и способность к ассоциативному мышлению остаются без изменения. Из памяти уходит что-то несущественное, относящееся к далекой истории нашей цивилизации, давно устаревшие знания.

Появляется ощущение легкости мышления, так как мозговые клетки освобождаются от излишней нагрузки и дают невиданные по богатству ассоциации образов.

Разработанные нами методы эффективны. "Очищение памяти" действует безотказно.

Перед нами открываются грандиозные перспективы, – продолжал Председатель. – Предлагаю решительные меры: объединить мозг марсиан в единый Мировой Разум. Мы создадим архитектурный ансамбль, огромное здание и наполним его мозговым веществом всех марсиан, предварительно произведя операцию "Очищение памяти". Какие богатые возможности откроются перед нами в познании материи! На какие грандиозные мыслительные усилия будет способен Мировой Разум!

Я спрашиваю, какие преимущества дает нам деление нашего общества на индивидуальности? Свобода механического передвижения друг относительно друга и нашей планеты? Наше общество стало обществом шаров, которые, кружась, подымая тучи пыли, бессмысленно носятся по планете. Но эти механические дви-

жения потеряли всякую целесообразность. Это атавистическая форма существования, не связанная с нашей современной деятельностью. Разве наша мысль, двигаясь со скоростью света, отражаясь, не дает нам быстрейшую информацию о явлениях в любом месте пространства?

К чему эти бессмысленные механические перемещения мозгового вещества? Я считаю своим долгом Председателя Синклита поставить вопрос о прекращении бессмысленного расходования энергии.

Один из шаров, который уже давно беспокойно ерзал на своем месте, крикнул срывающимся голосом:

– Подумайте, что он предлагает! Это смерть, это уничтожение народов Марса, это прекращение нашей истории! Я ни за что, ни за что не соглашусь на самоубийство! – кричал знаменитый член Синклита Ти-Ит.

Заслуги Ти-Ита в области поэзии, истории и астрономии принесли ему всеобщее уважение.

Бо-Дя-Га обвел мысленным взглядом собрание Синклита и, к своему удивлению, обнаружил сильную оппозицию и многих колеблющихся. Председатель стал терять самообладание. Ему казалось, что гибнет лучшая идея его жизни.

Началось нечто неописуемое. Члены Синклита уже давно разбились на два лагеря и вели дискуссии, которые с каждой минутой становились все ожесточеннее.

В пылу дискуссий вспыльчивый У-Дэ послал уничтожающую мысль в череп Ди-Ни. Череп Ди-Ни раскололся, и его мозговое вещество испарилось. Ди-Ну, друг Ди-Ни, обратным ударом уничтожил У-Дэ.

Заседание Синклита слушала вся планета. Вскоре вся планета разбилась на два лагеря и представляла собой арену невиданной битвы. Шары испускали молнии концентрированной мысли, разящие мозговое вещество противников. Разорвались вся связки. В безумном вихре носились шары по планете при вспыхивающих электромагнитных разрядах и оглушительных взрывах.

Особыми боевыми доблестями выделялся сам Бо-Дя-Га. Он часто шел на прямой таран. Раздавался ужасающий треск близких электрических разрядов, но его крепкий череп выдерживал любые испытания. Наконец сторонникам Бо-Дя-Ги удалось совершить удачный маневр, в результате которого противники были окружены и уничтожены. Спасся только один Ти-Ит, который знал о существовании глубокой пещеры, так долго служившей мне убежищем.

В этой битве было уничтожено много миллионов марсиан. Победители первое время не замечали исчезновения Ти-Ита, а потом, упоенные победой, видимо, его просто игнорировали.

По всей планете шли торжества победителей, славились прозорливость и гениальность Председателя.

Быстро росло здание Мирового Разума.

Синклит утвердил архитектурный проект здания, которое представляло собой грандиозный череп с глазницами – входом-выходом. Здание должно было вместить двадцать пять миллионов килограммов мозгового вещества – все, чем располагали оставшиеся в живых обитатели планеты.

Когда здание Мирового Разума было готово, началось торжество, сопровождающее операцию заполнения. В гранитном кресле покоился Председатель. Каж-

дый шар-марсианин проходил мимо гранитного кресла и получал от Председателя "очистительный импульс", стиравший индивидуальную память. Затем шар влетал в глазницу здания Разума, вылетал опустошенным из другого отверстия и тут же испарялся голубоватой дымкой.

Наконец операция заполнения была закончена. Председатель окинул мысленным взором пустынные здания вычислительных центров, давно заброшенный Дворец Судеб и исчез в темном отверстии грандиозного черепа.

Сам я не был свидетелем этих событий. Я сидел одиноко в своей пещере и, как всегда, предавался воспоминаниям.

Я знаю все только по рассказам Ти-Ита, который внезапно возник передо мной, слабый, почти без сознания. Ти-Ит сильно пострадал в этой последней битве. Он был погребен под грудой миллионов черепов. Победители, упоенные победой и одержимые грандиозной идеей создания Мирового Разума, не обратили на него никакого внимания.

Из своего укрытия Ти-Ит мог наблюдать последние дни истории народов Марса.

Я мало что понимал в рассказах Ти-Ита. За многие тысячи лет моего изгнания культура марсиан ушла далеко вперед, и язык уже неизвестной для меня цивилизации стал иным.

Только когда Ти-Ит разговаривал со мной на языке эпохи "Очищения от страстей", я иногда понимал его речь. Ти-Ит нередко жаловался на то, что невозможно перевести на этот древнейший язык содержание современных событий. Смысл современных научных теорий о строении материи и структуре Вселенной в популярном изложении Ти-Ита так и остался для меня недоступным, его длинные речи казались мне туманными и, правду говоря, бессмысленными. Из-за понятной боязни мы не решались подняться наверх. Так мы провели много лет. Как-то Ти-Ит пришел в сильнейшее возбуждение: он волчком закружился по убежищу, внезапно остановился и торжественно произнес:

– Я понял – мы свободны. Я понял, почему Мировой Разум оставил меня в покое: после операции "Очищение памяти" все относящееся к индивидуальности забыто. В сознании Мирового Разума я не мятежник Ти-Ит, а просто маленький комочек организованной мыслящей материи. Наверх, на свободу!

И Ти-Ит вылетел из камеры. Я последовал за ним...

Перед Петром Николаевичем и его спутниками возникла та картина, которую увидел Он и Ти-Ит. Возвышалась многокилометровая скала в форме грандиозного черепа. В ротовое отверстие черепа непрерывно вливалась струйка вещества – энергетическое питание Мирового Разума.

Струйки летели откуда-то издалека. Почти все горы Марса давно исчезли в этих струйках.

– Прошло менее тысячи лет нашего добровольного заключения, – продолжал Он. – Против наших ожиданий оказалось, что на планете еще существует жизнь. Зеленели сочные поля, бродили отары овец. Я с удивлением обнаружил марсиан эпохи Ле-Ко. Оказалось, что где-то в глубинных районах Марса чудом сохранился немногочисленный народ эпохи чревоугодников. Его цивилизация как-то законсервировалась и пережила все другие народы Марса.



В полуразрушенном здании Дворца Судеб полным ходом шли восстановительные работы. Народ сохранил традиционное отношение к великому эксперименту.

Как бывший главный конструктор Дворца Судеб, а затем хранитель Свитка, я был с радостью принят этим народом. Чтобы не смущать своим видом новых обитателей города, я стал носить их одежду.

Конечно, пристальное наблюдение за тем, что происходит на Земле, невольно заражало наблюдателей земными интересами.

Возникали известные симпатии к странам, народам, отдельным лицам. Возникало желание в чем-то помочь, предупредить: Свиток Судеб доступен каждому из нас. Но существовал непреложный закон: попытки вмешательства в судьбу землян караются уничтожением.

Мировой Разум не обращал на нас никакого внимания. Видимо, в результате усиленной работы мысли этого грандиозного интеллекта вокруг черепа Мирового Разума на десятки километров образовалось особое электромагнитное состояние среды, которое делало невыносимым для всех живых существ пребывание в ней. Таким образом, возникла своего рода запретная зона, ограждавшая череп Мирового Разума. Народ Марса поклонялся ему как божеству, не будучи в состоянии понять его природу.

Я все дни мирно проводил во Дворце Судеб, развертывая чудом уцелевший Свиток Судеб, сличая записанное с наблюдениями. Наблюдения я проводил тщательно день за днем. Шар Ти-Ита то откуда-то появлялся, то исчезал, и между нами так и не возникло то, что можно условно назвать дружбой.

Шли чередой столетия. Я непрерывно наблюдал Землю, знал на память события, людей, судьбы. Свиток Судеб медленно разматывался. Оставалось несколько месяцев до его конца... Он кончался появлением людей на Марсе. Дальше судьбы людей и марсиан перекликались, а так как марсиане не имели возможности предвидеть свою собственную судьбу, то дальнейшие вычисления событий становились беспредметными. К этому времени мы обратили внимание на глухие громоподобные раскаты, которые иногда раздавались в месте расположения Мирового Разума. Временами ослепительные молнии вспыхивали в направлении одного и того же участка неба.

Ни я, ни Ти-Ит не понимали жизни Мирового Разума, его деятельности и устремлений, но внешнее проявление его активности стало нас беспокоить.

Однажды откуда-то появился сильно возбужденный Ти-Ит. Он носился между микрофильмами с записью Судеб. Я с опаской наблюдал за этой пляской. Ти-Ит мог произвести серьезные разрушения или создать большую путаницу в моем хозяйстве.

– Я догадался! – кричал он взволнованно. – Я догадался. Мировой Разум поставил своей целью проникнуть за защитные сферы, окружающие планету Икс. Мы являемся свидетелями какого-то невиданного сражения там, вблизи планеты Икс.

Мы поспешили укрыться в нашу спасительную пещеру. Едва мы ее достигли, как раздался потрясающий удар, который на время лишил нас сознания. Я очнулся раньше Ти-Ита. Он лежал рядом без движения. Постепенно я стал различать его бессвязную речь.

По словам Ти-Ита, непосредственно перед ударом он ощущал движение мощного электромагнитного импульса, который направлялся на Марс и двигался с участка неба, где расположена планета Икс. Видимо, речь шла о каких-то ответных мерах со стороны планеты Икс.

Мы решились на разведку.

Без всяких затруднений я и Ти-Ит выбрались на поверхность. Вместо зеленеющих полей мы увидели взволнованное море красноватого песка. Полностью исчезли небоскребы вычислительных центров, грандиозного здания Дворца Судеб как не бывало. Мы беспрепятственно прошли былую запретную зону. Там, где возвышался Мировой Разум, курились небольшие дюнки красноватого песка. Только вот это гранитное кресло Председателя Синклита напоминало нам об исчезнувшей цивилизации. Ти-Ит и я – это все, что осталось от народов Марса. Исчезла атмосфера Марса. Теперь для вас я воссоздал этот небольшой атмосферный оазис.

Обследуя пространство невдалеке от места трагических событий, я обнаружил на дне глубокой лощины обрывки микрофильмов Свитка Судеб.

Я тщательно очистил от грязи микрофильмы и поместил их в чудом уцелевшую древнюю пещеру. Убежище доисторического марсианина, она была в свое время тщательно законсервирована, превращена в музей.

Пещера представляла собой глубокое и очень комфортабельное образование в массивной гранитной скале. Стены были покрыты хорошо сохранившимися примитивными рисунками наших отдаленных предков. Это удобное помещение я легко приспособил под свою лабораторию. И вот я, как прежде, днями просматриваю микрофильмы, электромагнитные щупальца моего мозга быстро обшаривают Землю, идентифицируя события и людей. Иногда внезапно появлялся Ти-Ит. Говорил о чем-то непонятном и так же внезапно исчезал. Его совершенно не интересовала моя деятельность.

Как-то Ти-Ит сообщил мне, что у него есть неопровержимое доказательство в пользу того, что мы были свидетелями не убийства, а фактического самоубийства Разума. Что импульс, посланный Мировым Разумом в направлении планеты, отразился от защитных сфер и поразил свой источник. Все это произошло, видимо, из-за какой-то ошибки в расчетах.

Однажды, к моему глубокому удивлению, я обнаружил отклонения земных событий от предначертаний Свитка Судеб. Иван Иванович должен был стать блестящим ассистентом профессора, а он, даже не защитив диссертации, бросил научную деятельность, уехал преподавателем биологии в какую-то школу. Появлялись все новые отклонения от Свитка. Профессор Андреев со своими ближайшими сотрудниками должен был появиться на Марсе, а он, оказалось, занялся совсем другим комплексом работ.

Эти отклонения вывели меня из равновесия, и я, как теперь вижу, буквально потерял голову. Как я понимаю, мне чисто рефлекторно хотелось восстановить порядок в течении земной истории, вмешаться в ход событий, исправить их, заставив развиваться в нужном, то есть предписанном, направлении. Я лихорадочно действовал, но, по существу, бессмысленно метался в погоне за ускользающими событиями. К этому времени, по Свитку Судеб, на Марсе должна была образоваться колония людей со своим поселком. Но ничего подобного не случилось. И я,

почти импульсивно исправляя ситуацию, перенес Орловку на Марс. Я действовал как в тумане и теперь понимаю все нелепость совершенного.

Отклонения в развитии земных событий от предсказанного в Свитке Судеб были столь неожиданны, что я просто растерялся. Видимо, сказалась контузия во время гибели Мирового Разума, и я не мог достаточно логически мыслить.

Я развил лихорадочную деятельность, пытаясь вернуть события на предначертанный нами путь. Зачем? К чему? Теперь я и сам вижу нелепость моих попыток.

На Земле я появлялся в человеческом образе, чаще всего в образе Ивана Ивановича. Его образ создавался соответствующим отражением видимых лучей. Еще миллионы лет назад в наших театрах широко использовался этот специфический способ имитации. Как для ваших артистов, имитирующих без грима какой-нибудь персонаж, требуется известное мускульное усилие, так и в нашем способе имитации мы должны держать наши органы электромагнитного излучения в известном напряжении.

Иногда, поглощенный своими мыслями, я забывал об этом и тогда, видимо, пугал земных жителей своим "естественным" видом, к которому привык.

Как-то, бродя по Земле, я заметил бедственное положение одного молодого геолога: он стоял по горло в глубокой луже и его медленно засасывало илом. Я сообщил ему импульс, геолог мгновенно оказался под облаками, а затем я осторожно опустил его на Землю. Эти события не записаны в Свитке Судеб. Да и вы – жертвы моей растерянности.

Мне остается только просить извинения, как говорят у вас на Земле.

Я сегодня же постараюсь исправить все, что напутал.

Марсианин умолк и глубже уселся в свое гранитное кресло. Все сидевшие вокруг на сухих песчаных дюнах встали, наступила неловкая минута прощания.

Шофер Миша давно мял кепку в руках.

– Товарищ... э... – начал он заикаясь, – поедемте с нами на Землю, ей-богу! С такой-то головой, да вас на любое большое строительство возьмут консультантом с оплатой по самой высшей ставке... Ей-богу, договорились?

Марсианин молчал.

– Может быть, вы стесняетесь вашей физиономии? – продолжал неуверенно Миша. – Так у моего напарника еще почище будет, и то ничего... Едемте!

Марсианин отрицательно показал головой.

– Куда же вы денетесь? – спросил Юрий.

– Никуда, – ответил марсианин.

– Что же вы будете делать?

– Мыслить, вспоминать прошлое.

– Вот так, один на всей планете, сидеть и мыслить?! – воскликнула Маша. – Может быть, вам что-нибудь нужно? В чем-нибудь помочь?

– Нет, мне ничего не надо.

Наступила пауза, которая становилась все более тягостной.

Группа, тихо ступая на носки, как в комнате тяжелобольного, начала двигаться к поселку.

Иногда, оборачиваясь, они видели в красных лучах заходящего солнца одинокую фигуру марсианина, сидевшего на камне. Молчали...

– Эх, жизня! – громким восклицанием нарушил общее молчание Миша, с сердцем вытирая грязь с ботинок у ступенек дачной лестницы.

По даче быстро семенила Матвеевна.

– Миша, разбойник, все время молчком подкладывает в холодильник свежие продукты. До чего, разбойник, додумался! Ночью, слышу, открывается дверца, смотрю, какой-то сверток подымается со стола в воздух и – юрк в морозилку. Свят, свят, говорю, рассыпься! Уж потом я сообразила, что это Миша. У нас никто, кроме Миши, не любит горчицы, а в холодильнике появилась целая банка, – довольная своей догадливостью, заключила Матвеевна.

Эту длинную тираду Матвеевны выслушали стоя, косясь на длинный накрытый стол, где стоял ужин».

– Кстати, об ужине, – заметил доктор. – Сегодня мы заболтались и остались без ужина. Надо сказать, и Шахразада порядком устала. Она прекращает дозволенные речи.

– Однако вы, доктор, кровожадный. Вы и на Марсе устроили частые истребительные войны, – недовольно бросила Валя.

– Во-первых, "частые" – это неправда. Три войны за миллионы лет, – доктор пожал плечами. – Несколько тысяч лет до эры Ле-Ко в веке Благоденствия войн не было, так? Помните, я очень старался предотвратить войну в начале эры Ле-Ко, но не успел. Затем, Валя, миллионолетняя мирная история эпохи Ле-Ко, так? Фантастическое безумие, охватившее население Марса в эпоху Саво-На-Ролы, можно рассматривать как редкое случайное событие за миллионолетний период. Я физически не мог предотвратить последнюю потасовку в эру Бо-Дя-Ги, она, извините, так логична. Вот и все.

– А за уничтожение Мирового Разума, – сказала Валя, – я даже вам, доктор, признательна. Я думаю, и ночь спала бы плохо, если бы Мировой Разум не закончил своего существования. Нет, я уверена, – твердила Валя, – будет все совсем, совсем по-другому. Человек будет красив и духовно и физически, всегда, всегда!

Доктор в ответ пожал плечами:

– В дальнейшем, в первые тысячелетия, я согласен. Но пройдут века Благоденствия, вы захотите жить тысячу лет и более... Знаете, Валя, я не убежден, что жажда бессмертия не в состоянии преодолеть те, в сущности, понятные и мне эмоции, которые в данный момент руководят вашими категорическими высказываниями. Искусственная челюсть, очки – это начало пути в эру Ле-Ко, и неизвестно, как далеко в этом направлении уйдет человечество за миллионы лет своего существования.

– Нет, нет, – настаивала Валя, – я уверена, что найдутся возможности неограниченного физиологического совершенствования организма, без уничтожения самого организма, и что история фантастической цивилизации в нашей повести порождена роковой случайностью, ошибкой физиолога Ню. Я думаю, что на планете Икс может быть действительно найдено другое решение проблемы бессмертия. Очень интересно знать, что стало с цивилизацией планеты Икс? Как они добились закодирования нестарения клеток своего организма? Как они избежали ошибки физиолога Ню?

– Ну что ж, – очень просто, возьмите обратный железнодорожный билет до Москвы, подберите подходящих спутников и, может быть, за восемь суток вы получите ответ на ваш вопрос, а с меня довольно, – закончил разговор доктор, закутываясь в одеяло.

ДЕНЬ СЕДЬМОЙ

К вечеру по привычке собрались в купе все участники затянувшегося рассказа. Рассказ, в сущности, был закончен. Правда, надо было вернуть на Землю Петра Николаевича с его группой, но все это не сулило каких-либо неожиданностей в развитии фабулы.

С трудом упросили журналиста закончить рассказ.

«В то утро, – продолжал рассказ журналист, – Петр Николаевич, как всегда, работал в своем кабинете. Что-то плохо вычислялось. С самого начала пропала двойка, которая никак не хотела находиться, а потом – минус... Как известно, по сравнению с другими грешниками физикам-теоретикам придумано особое мучение: искать в вычислениях пропавшие двойки и минусы.

Вычисления не шли, Петр Николаевич шаг за шагом восстанавливал свой ночной сон.

Начался сон так буднично, обычно.

Петр Николаевич медленно подымается по институтской лестнице и идет – он отчетливо это помнил – на заседание Ученого совета по обсуждению профилей аспирантских специальностей. На черной доске объявлений сиротливо белеет какой-то листочек бумажки, прикрепленный кнопкой. Петр Николаевич читает... Ровно в пять часов вечера в помещении Большой аудитории назначается заседание Ученого совета университета. Повестка дня: 1. Утверждение профиля человека на 8984 год. Ученый секретарь Аристотель. И подпись по-древнегречески...

Заседание открыл председатель Ученого совета профессор Невзоров. Как всегда, он начал свое вступительное слово со свойственными ему энергией и подъемом. Категорически заявил, что считает данный вопрос принципиально важным. Впрочем, никто и не думал оспаривать важность вопроса, и такая страстная категоричность была несколько излишней, но речь председателя чем-то импонировала аудитории и, как всегда, принималась с привычной благожелательностью.

Было очевидно, что председатель стремится как можно скорее закончить свое вступительное слово, но терпит одну неудачу за другой. Вот, казалось, попалась нужная фраза, конец близок, но фраза вдруг получает такой вавилон, такой выкрутас, что оратор оказывается снова и снова отброшенным почти на исходные позиции. Минуты три оратор яростно раскручивает неудачную фразу, обрывает на полпути, начинает новую и… повторяется то же самое. Аудитория напряжена, готова великодушно прийти на помощь оратору, слышатся проекты отдельных фраз и слов, формулирующих мысль оратора. И вот наконец председатель у финиша…

Из вступительного слова было ясно, что вопрос, подлежащий обсуждению, объединяет пять различных проблем, которые и предполагалось решить в строгой последовательности.

Все казалось простым и ясным до того, пока слово не взял профессор Н.Н. Землероев.

Профессор нашел такие сложные стороны этого вопроса, такие неясности и противоречия в поставленной перед Ученым советом проблеме, что в конце его выступления оставалось мало надежды вообще когда-либо их распутать.

Оратор ясно показал, что не существует той строгой последовательности пяти проблем, которые предлагались председателем для обсуждения. Более того, он доказал, что три последние из перечисленных пяти проблем строго сводятся к двум предыдущим. Надо сказать, эти доказательства были проведены в очень сжатой и изящной форме.

Многочисленные попытки членов Ученого совета обнаружить некорректности в доказательстве Землероева успехом не увенчались. Вот уже второй час идет горячая дискуссия на заседании Ученого совета о числе проблем, содержащихся в поставленном вопросе…

Петр Николаевич хорошо знал профессора Землероева. Но когда посмотрел на него, то, к своему удивлению, вместо всегда корректного костюма увидел на профессоре древнегреческую тунику; розовые пятки алели в искусно сделанных сандалиях. Петр Николаевич долго не мог оторвать от них взгляда, а когда опять присмотрелся, снова поднял глаза к лицу оратора, понял, что это совсем не профессор Землероев. На председательском кресле вместо Николая Николаевича сидит… Аристотель. Тот самый, который столько лет стоял на книжном шкафу в кабинете Петра Николаевича.

У распределительной доски вместо лаборанта Володкина стоит, ухватившись за рубильник, Герон Александрийский. Направо от Петра Николаевича вместо Степанова, аспиранта из лаборатории теоретической физики, в характерной позе сидит Будда. Шакья Муни безмятежно созерцает аксиомы Ньютона, выписанные большими прописными буквами по белому полю и повешенные над широкой черной лекционной доской Большой физической аудитории университета.

Петр Николаевич внимательно присматривается к присутствующим и обнаруживает Канта, Гегеля, Ницше, Спинозу, Декарта, Демокрита, Беркли, Платона, Лукреция и десяток других философов, знакомых по портретам, гравюрам и скульптурным памятникам.

– Это собрание должно сказать, что́ есть человек и каковы пути его совершенствования, каковы его цели, задачи и жизненные ценности. – слышит Петр Николаевич голос Аристотеля. – "Человек – это двуногое, но без перьев" – так я определял когда-то понятие человека. Почти две тысячи лет прошло с тех пор, и в настоящее время я не считаю эту формулировку достаточной, хотя…

– Еще бы, – подмигнул Петру Николаевичу Бэкон Веруламский, – Аристотель при любом случае не прочь напомнить о своих даже ошибочных положениях. Удивительная претензия на непогрешимость.

Аристотель указал на какой-то шар. Гладкий, полированный, он медленно вертелся без видимой на то причины, то катился по зеленому сукну стола, то на мгновение застывал в спокойной неподвижности.

– Вот что мы должны обсудить, – продолжал Аристотель. – Это ли наше буду-

щее, к этому ли мы должны стремиться или сознательно направить развитие человечества по другому пути.

– Шар! – воскликнул Аристотель. – Шар, круг! Круг обладает удивительными свойствами. Нет ничего странного в том, что из удивительного происходит нечто удивительное. Но самое удивительное есть соединение в одном противоположных свойств. А круг есть действительно соединение таковых. Смотрите! – Аристотель широким жестом пригласил аудиторию. – Нечто противоположное проявляется прежде всего в линии, объемлющей круг. Это выпуклое и вогнутое, которые так же отличаются одно от другого, как большое и малое, и между которыми посредине лежит прямая, так же, как между последними – равное. Наконец, он в одно и то же время движется в противоположных направлениях: вперед и в то же время назад. Линия, описывающая круг, приходит обратно к той же конечной точке из которой она вышла…

– Старо!.. Слышали!.. – крикнул Бэкон Веруламский. – Регламент!..

Через секунду вся аудитория, что-то внезапно вспомнив, неистово кричала: "Регламент, регламент!"

Ницше, мрачно насупив брови, бил кулаком по скамейке и рычал: "Регламент, регламент! Так говорил Заратустра!"

Аристотель рассеянно смотрел на них и беспомощно озирался. Наконец Герон Александрийский и Валера, слесарь из институтских мастерских, поставили перед Аристотелем огромные водяные часы.

Герон Александрийский прямо из часового резервуара намочил платок и повязал им голову: зной стоял страшный. Петр Николаевич посмотрел наверх, там вместо грязноватого потолка аудитории голубело ярко-синее южное небо. Но Петр Николаевич не страдает от жары, он, оказывается, сидит на сочной траве в густой тени маслин.

Президиум расположился на самом солнцепеке большой поляны оливковой рощи. Аристотель непрерывно пьет воду из графина и обмахивается "Литературной газетой". Пахнет сухим душистым сеном. Сквозь зелень олив белеет мрамор Парфенона.

– Слово имеет Иммануил Кант.

– Я не просил слова, – рассеянно повторяет Кант.

Разгневанный Аристотель сует Канту записку.

Даша, уборщица, тепло поздоровалась с Петром Николаевичем, стала рядом, прислонилась к стволу оливы. Даша держала в зубах шпильку и поправляла волосы.

– И чего спорють, – говорила Даша стоящему рядом Гераклиту. – Какие такие цели, задачи в жизни? У всяк свое… Мой внучок Сашка говорит: нет ничего лучше в жизни, как сидеть у речки с удочкой. У всяк свое… Всяк как хочить, так и строчить… Живи как хочется… только не делай так, чтоб другим от этого было плохо… – Даша вздохнула и о чем-то задумалась.

– Вы расскажите Канту о своих идеях… по поводу его категорического императива… – вежливо говорит Даше Гераклит.

– О каких моих?.. Ничего у меня нету и сроду не было!.. Я даже в комитете бедноты состояла в нашем поселке. – Даша обиженно поджала губы и отвернулась от Гераклита.

– Я не знаю, что сказать... – продолжает Кант, – все, о чем я думал, изложено в моих книгах. Я думал о критических суждениях a priori, о чистых наглядных представлениях, о категорическом императиве... а эта проблема мне, к сожалению, незнакома. Мой привычный распорядок дня нарушен. Прошу разрешения покинуть заседание, а также прошу указать мне дорогу домой... Я так далеко никогда не заходил...

– Что? – переспрашивает Аристотель.

– Далеко не заходил, – зло комментирует кто-то из задних рядов.

Гегель жует губами:

– Да, многие пошли и дальше Канта. – И тихо Гераклиту Темному: – Дальше можно пойти двояким путем, дальше вперед и дальше назад...

Гераклит что-то отвечает, как всегда, темно и непонятно.

– Слово имеет Гегель.

– Простите, я не просил слова.

Аристотель укоризненно качает головой:

– Никто не хочет выступать.

– Гегель?! Здесь этот мерзавец! Пустите меня, – кричит Шопенгауэр. – Я уничтожу эту дохлую собаку!..

Гераклит Эфесский и Спиноза крепко держат Шопенгауэра за плечи, кто-то кричит тонким пронзительным голосом: "Милицию, милицию!"

Мимо пробежали дворники. Ярко сверкают начищенные бляхи, гулко раздается в оливковой роще топот тяжелых сапог. Вдалеке затрещали свистки постовых.

– Не держите меня! Пустите меня! – кричит Шопенгауэр.

Успокойтесь, успокойтесь... – грозно наступает Гераклит Эфесский, полы хитона величественно развеваются по ветру. – Вы в свое время пожили, побуянили... Не забудьте, сейчас двадцатый век.

– Все течет, – Гераклит засучивает один рукав. – Все изменяется. – Гераклит засучивает второй рукав. – И нельзя...

– Слово имеет Гегель, – повторяет Аристотель.

– Мне нечего сказать... Я писал об отношениях мысли к действительности, я думал об абсолютной идее, о развитии мирового духа... А вот так... Я не подумал.

– Кто следующий? Кто хочет слова? – Аристотель взволнованно теребит бороду.

Философы молчат...

Аристотель подождал немного и объявил перерыв на десять минут.

Петр Николаевич слышит, как будто кто-то читает вслух письмо:

"Дорогой Фред! Я опять сижу на бобах... Десять фунтов, которые ты мне прислал, исчезли дней пять тому назад. Посуди сам: три отдал зеленщику, четыре мяснику... Не уплатил за квартиру... Каков человек будущего, дорогой Фред, я не знаю, я только знаю: он будет счастливее нас тем, что у него не будет долгов зеленщику, квартирной хозяйке... Уйдя из царства необходимости в царство свободы, он найдет разумное решение вопроса..."

– Пустите меня! Пустите! – снова послышался голос Шопенгауэра.

Тут Петр Николаевич просыпается и слышит из соседней комнаты взволнованный крик Маши.

– Пустите меня! Пустите меня! Скользкие, противные руки!

Петр Николаевич, запахивая полы халата, выбегает из кабинета.

Маша, накрывшись одеялом, сидит на диванчике и смотрит на Петра Николаевича широко раскрытыми глазами.

– Да, приснился сон. Будто я, – говорит Маша, – оказалась в лесу на берегу какого-то ручья. Мне почему-то необходимо перейти ручей по тонкому бревну. Я несколько раз вступала на этот неверный мостик. Мост изгибался, даже уходил под воду, и я возвращалась на берег.

Вдруг сзади я услышала молодой голос очень приятного тембра: "Я помогу вам".

И кто-то очень сильный нежно взял меня за плечи. Мне казалось, только пальцами. Буквально в какую-то долю секунды я оказалась на другом берегу ручья. Я хотела поблагодарить за неожиданную помощь, но, обернувшись, увидела странное существо: почти шарообразное тело со многими длинными щупальцами вместо рук и ног... На концы щупалец были надеты длинные черные перчатки, а на туловище высился блестящий черный цилиндр. Существо сделало, как я поняла, галантный жест множеством щупалец и приятным, я бы сказала, музыкальным голосом начало странную речь. Я была зачарована звуками голоса, и в этот момент, казалось, даже не видела говорящего.

– Маша, – сказал он, – я давно наблюдаю за вами с нашей планеты. Я без ума от вас, – и молитвенно закрыл длинными веками свой единственный огромный красный глаз, расположенный в середине туловища. – Я наконец осмеливаюсь предложить вам руку и сердце... вернее все руки – у меня их десять... и все сердца – у меня их пять...

И он указал на какие-то предметы, которыми был обвешан, как корреспондент газеты фотоаппаратами. Он галантно, изящным движением снял перчатки, собрал их вместе и взял меня за руку своими лапами. Лапы были бледно-серые и скользкие. Я в ужасе закричала и проснулась.

Еще долго Маша не может прийти в себя, трет виски и качает головой, как будто продолжает отказывать "ему" в его просьбе.

Петр Николаевич наливает из графина воду на ладонь и растерянно брызгает на Машу.

– Маша, успокойтесь... Что с Вами?

Петр Николаевич в халате, в ночных туфлях. Не зная, что делать, держит графин за горлышко и раскачивает им в воздухе.

– Поставьте на стол, – командует Маша.

Графин падает, катится по столу, вода булькает. Петр Николаевич тянется через стол за графином и не может достать.

– Зайдите с той стороны, – спокойно говорит Маша и натягивает одеяло до самого подбородка.

– Спасибо, – за что-то благодарит Петр Николаевич и наконец справляется с графином.

– Я сейчас тоже видел поразительный сон, – ежась от ночного холода, говорит Петр Николаевич. – Философы всех времен и народов собрались в оливковой роще подле храма Парфенона обсудить человека будущего... Поднялась такая кутерьма!

Петр Николаевич понимает, что говорит скучно, неинтересно. Маша, углубившись в свои мысли, просто не слушает.

Тут Петр Николаевич вспомнил кружащегося вокруг Маши Ти-Ита и слова, как-то брошенные марсианином. У Ти-Ита, по словам Она, появилась навязчивая идея – родить от обитательницы Земли сына человеческого, который получил бы от него, Ти-Ита, с точки зрения землян, сверхъестественные способности непосредственно воздействовать на окружающую природу.

Петру Николаевичу вдруг стали ясны те социальные последствия появления на Земле сверхчеловека, наделенного интеллектом и возможностями марсианина творить "чудеса", перед которыми бледнеют чудеса библейские и чудеса всех богов, рожденных фантазией человека.

Тогда же марсианин сказал, что не допустит этого, и сон Маши, видимо, возник не случайно.

– Сон в руку, – вслух произнес Петр Николаевич, широко улыбаясь.

Маша с удивлением посмотрела на Петра Николаевича.

Бледнел рассвет».

– Цитируя вас, – обратился журналист к доктору, – я должен сказать: "Тут Шахразаду застало утро, и она прекратила дозволенные речи".

– Хоть и не впервые это сказано, но цитирование всегда приятно, даже если оно не очень заслуженно. Я должен заметить, что журналист собрал все философские анекдоты, которые я когда-либо слышал. Я не знаю, говоря словами одного из героев нашей повести, "а хорошо ли это"? Спустили бы прямо на Землю всю группу Петра Николаевича, и дело с концом, ворчал доктор. – А тут журналист развел сновидения. Не выберешься… Неужели ни один порядочный роман не может быть без сновидений? Даже Пушкин не удержался и предложил Татьяне увидеть сон… Сон вашей Маши, уважаемый журналист, очень напоминает сон Татьяны. Я не хочу вас обвинять в плагиате…

– Не считаете ли вы, доктор, что Шахразаде пора прекратить дозволенные речи, – вмешалась Валя. – Время позднее…

– Считаю, виноват, – закончил доктор. – Я уже сплю.

ДЕНЬ ВОСЬМОЙ

Это был последний день долгого пути, что чувствовалось по поведению пассажиров. Движения стали более энергичными, часто торопливыми. Иногда то один, то другой посмотрит на соседа отсутствующим взглядом, это значит, что он уже живет Владивостоком. Коллектив, сплотившийся за долгие дни, распадался… Скоро они станут совсем чужими.

К обеду ожидание конца путешествия утомило пассажиров, слишком рано началась репетиция прибытия. А когда выяснилось, что поезд прибывает во Владивосток поздно ночью, вернулись привычные настроения прошлых дней.

– Вы, Валя, начинали рассказ, пожалуй, вам его и кончать, – предложил доктор, когда в купе оказался весь авторский коллектив.

– Чем там кончилось? – вслух вспоминала Валя. – Ах, да, "бледнел рассвет". Итак, "бледнел рассвет".

«– Под окнами дачи слышалась сердитая воркотня Матвеевны. "Марс, Марс, – ворчала Матвеевна, – трепался целую неделю про Марс. Поди, Матвеевна, посмотри, какой он, Марс. Когда ты в жизни увидишь такое? А когда мне смотреть на марсы – то завтрак, то обед, то ужин. Тебе, Миша, хорошо. Отвез – и спокоен и пяль глаза на марсы".

Потом стало тихо, а минут через двадцать голос Матвеевны поднял всех:

– Смеешься ты над старухой, – было слышно, как Матвеевна отчитывает Мишу. – Марс, Марс, я прошла до самой автобусной остановки на Ново-Матвеево и никаких марсов. Только милиционер Антип пристал, как банный лист, прости меня господи... "Где Вы Марья Матвеевна, пропадали всю эту неделю?" Где я пропадала, старый охальник... То завтрак, то обед, то ужин! Легко ли? Да вот он сам топает.

"Во сне Марс, наяву опять", – усмехнулся Петр Николаевич и стал обдумывать свое выступление на бюро Отделения Академии наук, которое должно состояться в пятницу. Тут Мария Матвеевна постучала в дверь и сказала, что милиционер Антип спрашивает профессора.

Антип решительным шагом направился к Петру Николаевичу. Он хотел избежать разговора с профессором, ограничиться расспросами Матвеевны, но здесь, как Антип говорил, получилась осечка.

Антип вспоминал, сколько неприятностей доставила ему эта история, и настроился на воинственный лад.

– Я к вам по служебному делу, – важно начал Антип, встречая профессора, сходящего с крыльца дачи. – Дача, в некотором смысле, числится как недвижимое имущество... Так что необходимо выяснить на месте, как и что, – продолжал Антип, – и предупредить... Соседние дачи пустые, и подозрение падает...

Профессор стоял и молчал. Антип взмок от пота, вытер лоб рукавом гимнастерки. Воинственное настроение исчезло, и надо было подумать об отступлении.

– Я, конечно, не про то... Каких-либо нарушениев там нет, но всяко могло случиться, – миролюбиво и рассудительно Антип искал пути к примирению. – Матвеевна могла бы, к примеру, выплеснуть сверху помои на голову колхозника...

Матвеевна стояла на крыльце, стараясь понять, зачем пришел Антип. Поняв наконец, в чем дело, распалилась гневом: – Где ты, идол, видел, чтобы я плескала помои?!

Антип досадливо махнул рукой.

– Дядя Тихон говорил, – продолжал Антип, – что эта штука светится снизу. Не дай бог искра какая-нибудь... кругом заскирдованные хлеба...

Профессор стоял и молчал. После мучительной паузы Петр Николаевич задумчиво произнес:

– Светится, говорите...

– И не только дядя Тихон. Дядя Тихон брехун, а свояченица Матвеича женщина верная, она хоть сейчас подтвердит. А главное, нехорошие толки в районе, – уже совсем доверительно продолжал Антип. – И для начальства большое беспокойство.

Сколько заявлениев, жалоб один пенсионер Липатов написал. Каждый день до двух часов ночи в его избе горит огонь... пишет. Не дай бог ему на перо попадете. Вы как-нибудь аккуратнее, – увещевал Петра Николаевича Антип. – Имейте в виду Липатов уже подбирается. Не раньше как в среду у него пропали старые половики. Он их во вторник повесил на забор сушить. А в среду, глядь, половиков-то и нету. Бог ты мой, что было... Заявление в прокуратуру, заявление на имя председателя горсовета. А в последнем заявлении так прямо и пишет: "Подозреваю, что исчезновение половиков находится в прямой связи с исчезновением поселка Орловки. Прошу принять меры и наказать виновных". Если бы не Липатов, на вас никто бы и не обратил внимания: летайте, пожалуйста, в свое удовольствие. Петр Николаевич, будьте осторожнее, – заключил свое длинное излияние Антип. – Чтоб Липатов ни-ни... Я так и передам начальству. Извините. – Антип почтительно приподнял фуражку, по-военному повернулся и зашагал к калитке под насмешливым взглядом Матвеевны.

Первое время Миша охотно рассказывал о странных событиях прошлой недели. Рассказы его сильно варьировались от случая к случаю и в зависимости от настроения.

По словам Миши, на Марсе произошла серьезная авария. Остался в живых один марсианин, да и то "чокнутый" в результате полученного ушиба. Ему бы надо вылежать спокойно недели две или три – и все, а он сразу вышел на работу. Это очень вредно, и врачи не рекомендуют.

– Я это хорошо знаю, – говорил Миша, – моя теща работает санитаркой в Склифосовской и как раз в отделении "чокнутых". Когда поздней осенью начинается гололедица, многие падают, сильно ушибаются, и вот тогда чокнутых десятками свозят в больницу. Так вот, этот марсианин, поступив против медицинских правил, получил временное психическое расстройство и натворил ряд несерьезных дел.

Хотя институтские шоферы и знали, что Миша – мастер "заливать", но слушали первое время с интересом. Критические замечания, насмешки появились позже. В обеденный перерыв в диспетчерской иной шутник, ударяя костяшкой домино, лукаво косил глаза и, пряча улыбку, говорил:

– Расскажи, Миша, как ты с Петром Николаевичем летал на Марс.

На что Миша обычно говорил:

– Легкомысленное отношение к важному делу.

Вскоре он перестал рассказывать о своем путешествии, замкнулся и ходил скучный.

Как-то, сидя за рулем, Миша спросил Петра Николаевича, не докладывал ли он об их поездке на Марс в Ученом совете. Петр Николаевич заявил, что пока еще не докладывал.

– И не надо, – хмуро посоветовал Миша, – не поверят».

– Видны огни Владивостока! – крикнул журналист.

Засуетились, авторский коллектив мгновенно распался на беспокойных, спешащих пассажиров.

Как будто и не было бурного начала эры Ле-Ко, неистового Саво-На-Ролы, по-своему великой, трагически исчезнувшей цивилизации.

Когда я дописывал последние страницы этой фантастической повести и стал перелистывать рукопись Петра Николаевича, я убедился, что все необычайные события, свидетелем которых был Петр Николаевич, нашли идентичное отражение и в написанном мной тексте. Иногда совпадение текстов рукописей было поразительным. Видимо, под влиянием внушения моего необычного знакомого они просто механически повторялись...

Не могу не сказать, что я испытываю какое-то теплое, чисто человеческое чувство к тому, в сущности, нечеловеку, с которым свел меня странный случай. И может быть, человечество когда-нибудь выразит ему свою признательность за предупреждение о тех опасностях, которые могут в будущем грозить цивилизации.

РАЗМЫШЛЯЯ О ВСЕЛЕННОЙ
(последняя работа М.А. Маркова)*

1. ВВЕДЕНИЕ

Под термином "Вселенная" в данном случае понимается пространство, которое нас окружает, и вся содержащаяся в нем материя: галактики, звезды, планеты и все живые существа.

Всегда человечество интересовал вопрос, как и когда возникла Вселенная. Более того, возникло ли вначале пустое пространство, а затем материя, или пространство неизбежно существует вместе с материей. Появились соображения, что материя и вообще Вселенная могла бы возникнуть в пустом пространстве. Пустое пространство описывается уравнением[1]

$$R_{ik} = 0. \quad (1)$$

Но это уравнение слишком общо и имеет слишком много решений. Другими словами, пустые пространства существенно различны по своей кривизне.

Например, плоское пространство, в котором пара параллельных прямых при своем преодолении нигде не пересекается, удовлетворяет более жесткому условию равенства нулю тензора кривизны:

$$R^{i}_{klm} = 0. \quad (2)$$

Другими словами, возникает проблема, которой могло бы не быть: каковы свойства пространства, пустого пространства, в котором возникает материя.

---

* Элементарные частицы и атомное ядро. 1998. Т. 29. С. 529–565.

Над предлагаемой вниманию читателей рукописью М.А. Марков работал до последнего дня своей жизни (1.10.1994 г.). Практически работа над ней была завершена. Но мы уже никогда не узнаем, какие изменения или дополнения он захотел бы внести в нее перед публикацией (впервые статья была опубликована в виде препринта ФИАН в 1995 г.). Работу по подготовке рукописи к печати взяли на себя ученики М.А. Маркова из ФИАН и ИЯИ РАН. – *Примеч. сост.*

[1] В общей теории относительности свойства пространства–времени полностью определяются метрическим тензором $g_{ik}(x)$, из которого по определенным правилам строится тензор кривизны Римана R^{i}_{klm}, а свертка тензора кривизны дает тензор Риччи $R_{ik} = R^{l}_{ikl}$ и скалярную кривизну $R = g^{ik} R_{ik}$ (по повторяющимся индексам подразумевается суммирование). Уравнения же Эйнштейна имеют вид

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g^{ik} R = \frac{8\pi\varkappa}{c^4} T_{ik},$$

где T_{ik} – тензор энергии-импульса материи, $\varkappa$ – гравитационная постоянная. В пустоте $T_{ik} = 0$, и мы имеем $R = 0$, откуда следует уравнение (1).

Альтернативное утверждение, которое может быть упомянуто в начале размышления о Вселенной, можно назвать постулатом или принципом существования Вселенной:

"Пространство существует, если только существует материя".

Эйнштейн пытался построить теорию Вселенной, которая представляла бы собой статическое, замкнутое трехмерное пространство. Для этой цели Эйнштейну пришлось видоизменить первоначальные уравнения – добавить некоторую константу, которую Эйнштейн обозначил греческой буквой Λ (так называемый Λ-член), при этом ее величина однозначно определялась плотностью вещества во Вселенной.

Однако в 1922–1924 гг. А.А. Фридман показал, что уравнения Эйнштейна имеют решения, описывающие расширяющиеся вселенные, замкнутые или открытые, как в случае присутствия, так и в случае отсутствия Λ-члена. Вначале Эйнштейн считал работу Фридмана ошибочной, но, по-видимому, после бесед с Крутковым признал работу Фридмана правильной. В дальнейшем экспериментальные наблюдения Хаббла показали, что мы живем в эволюционирующей расширяющейся Вселенной. Работа Хаббла подтвердила, что существует красное смещение спектральных линий света, приходящего к нам от далеких галактик. Это смещение есть следствие Доплер-эффекта, связанного с тем, что эти галактики удаляются от нас.

Расширение современной Вселенной означает, что когда-то было начало Вселенной, и, по современным данным, время жизни нашей Вселенной оценивается величиной порядка 10 млрд лет. В связи с этим возникло огромное количество различных проблем, которые необходимо решать в рамках расширяющейся вселенной. Наша Вселенная не просто расширяется, меняя свои размеры, – с ее расширением структура наполняющей ее материи должна была меняться со временем.

Расширение со временем Вселенной означает, что когда-то ее размеры были малыми, а плотность вещества большой. Это означает также, что когда-то не было галактик, звезд, планет, живой материи. Все это должно иметь свою историю. И лишь со временем должна была возникнуть материя в известной нам форме, в частности в форме всех элементов таблицы Менделеева. Возникла целая область физики – физика так называемой сверхранней вселенной, природа которой в настоящее время интенсивно теоретически изучается, чему уже посвящена обширная научная литература.

Природа сверхранней вселенной, как оказалось, находится в тесной связи с глубокими фундаментальными проблемами теории элементарных частиц. Дело в том, что в условиях сверхранней вселенной должен активно проявиться весь возможный спектр существующих элементарных частиц, все их взаимодействия, различные отношения между ними. Рассмотрение состояния сверхранней вселенной оказывается как бы специальным теоретическим полигоном, существенным для изучения наиболее фундаментальных свойств материи. Однако следует подчеркнуть, что то, что мы называем областью сверхранней вселенной, органически не включает в себя то предельное состояние бесконечно большой плотности материи, которое в этом случае содержится в решениях уравнений Эйнштейна, когда речь идет о самом первом (нулевом) моменте существования вселенной. Точнее говоря, область сверхранней вселенной обычно отсчитывают от момента t_0, где величина t_0

составлена из мировых констант: постоянной Планка $\hbar$, гравитационной константы $\varkappa$ и постоянной скорости света c

$$t_0 = \sqrt{\hbar\varkappa / c^5}.$$

Нами перечислено лишь очень немногое из того, что скрывается за широко открытой дверью в современную космологию. Можно сказать, что в отличие от застывшей вселенной Эйнштейна вселенная после работы Фридмана наполнилась историей, она, можно сказать, ожила, вернее, стала в какой-то степени сродни живому организму: она рождается и проходит различные стадии жизни.

В сравнении вселенных Эйнштейна и Фридмана может быть уместна аналогия, взятая из легенды далекого прошлого. Царь Древнего Кипра Пигмалион пал жертвой любви к им же созданной прекрасной скульптуре Галатеи. С помощью Афродиты Пигмалион вдохнул в скульптуру жизнь. Вселенная Эйнштейна – это аналог прекрасной, но безжизненной Галатеи. Вселенная Фридмана – это ожившая Галатея.

А.А. Фридман, открывая дверь в здание современной космологии, в то время не мог усмотреть многое, что содержится в этом здании. Правда, следуя научно-общественному мнению второго десятилетия XX столетия, в частности мнению Давида Гильберта[2], он полагал, что в рамках общей теории относительности, вернее в рамках созданного в то время ее стройного математического аппарата, физика уже приближается или даже приблизилась к тому исчерпывающему совершенству, которым обладает, например, геометрия Евклида, и что в рамках общей теории относительности найдут исчерпывающее объяснение все фундаментальные свойства материи.

В книге А.А. Фридмана, написанной совместно с В.К. Фредериксом [18], комментируются слова Д. Гильберта о начавшейся аксиоматизации физики в таком торжественно-мрачном стиле: "Нам, к счастью, не дано видеть будущего, и мы не знаем, явится ли эпоха аксиоматизации, эпоха скепсиса, предсмертными часами знания, но если бы даже это было так, то и тогда логическая красота конца заставила бы нас приветствовать появление Принципа относительности". Надо ли говорить о том, что природа оказалась намного богаче теории относительности Эйнштейна и фантастичнее фантазии Гильберта. Ведь совсем не теория относительности, а вначале нерелятивистская квантовая механика помогла раскрыть своеобразие закономерностей, господствующих внутри атома.

2. "НАМ, К СЧАСТЬЮ, НЕ ДАНО ВИДЕТЬ БУДУЩЕГО"

"К счастью" – предполагает возможность своей антитезы – "к несчастью". Знание того будущего, которое предполагалось авторами, означало бы конец знания, конец науки, который авторы вынуждены были бы приветствовать с печальным восторгом.

---

[2] "Я убежден также, – писал Гильберт, – что основные уравнения (теории Эйнштейна. – *М.М*) дадут возможность проникнуть в самые сокровенные процессы, происходящие внутри атома, и, что особенно важно, станет осуществимым привести все физические постоянные к математическим константам, а это, в свою очередь, означает сделать из физики науку такого рода, как и геометрия" [27].

Но нам, к счастью, не дано видеть будущего. Эта фраза заслуживает быть окруженной драгоценной рамкой. Можно утверждать, что общность, содержащаяся в словах этой фразы, подтверждается (конечно, в крупном плане) как в науке, так и в истории человеческого общества.

Если наша Вселенная в ее сегодняшнем состоянии, по-видимому, достаточно хорошо описывается решениями уравнений Эйнштейна, найденными Фридманом, то так называемое сверхраннее ее состояние – это пока закрытые страницы ее истории.

Фундаментальную проблему начальных условий для решений расширяющейся вселенной Фридман оставил для потомства.

Автор считает вместе с Фридманом, что нам, к счастью, не дано видеть будущего. Это утверждение делается не только на основе исторического опыта времени работ А.А. Фридмана, но и на некотором собственном опыте автора. Дело в том, что в 1962 г. на очередной конференции по физике элементарных частиц (точнее, на так называемой конференции по физике высоких энергий) в Женеве я просил многих ее участников записать в моем блокноте, что существенное произойдет в теоретической физике в течение будущей четверти века. Пророков не оказалось... Записи не имеют никакого отношения к теоретической физике настоящего момента. Только страничка, заполненная американским теоретиком китайского происхождения Т.Д. Ли, написанная иероглифами, свидетельствует о силе китайской мудрости. Если мне правильно перевели ее на русский язык, то эти иероглифы гласят:

Есть сто необыкновенных людей, есть сто необыкновенных путей.

Трудно предсказать, в каком виде теоретическая физика будет развиваться в будущем, но в каждый данный момент обычно формулируются в конкретной форме те задачи, которые кажется необходимым решить с точки зрения именно данного момента.

В 1956 г. П.А. Дирак в своем докладе на семинаре в Дубне сформулировал ряд конкретных проблем, стоявших в тот момент перед физикой будущего. Доску с написанными им формулами и перечнем задач я перенес в свой кабинет. Семь проблем были написаны Дираком в таком порядке:

1. Бесконечности.
2. $e^2/\hbar c$.
3. Нуклоны и мезоны.
4. M/m.
5. Фундаментальная длина.
6. Гравитационное поле.
7. Нейтрино.

Этот список имеет теперь уже практически 40-летнюю давность. Что же по этому списку проблем можно сказать сегодня?

Проблема 1 (*бесконечности*). В настоящее время здесь возникло понимание того, что в рамках теории конкретного поля, взятого в отдельности, изгнать бесконечности, по-видимому, невозможно. Видимо, природа устроена так, что только взаимодействие всех существующих полей вместе способно решить эту проблему.

Говоря конкретно, появились соображения в пользу того, что во всем семействе полей бесконечности, о которых идет речь, возможно, входят в вычисления с противоположными знаками, которые способны избавить от них только полную теорию полей. С другой стороны, появились также основания полагать, что, например, при учете во всех полях роли гравитационного поля в природе реализуется фундаментальная длина, именно длина Планка $l_{\text{Pl}} = \sqrt{\hbar\varkappa / c^3} \sim 10^{-33}$ см, и что именно гравитационное поле определяет автоматически предельную длину в процессе ее измерения (*проблема 5 – фундаментальная длина*) и соответственно предельную энергию излучаемого кванта поля минимальных пространственных размеров. Что касается спектра масс так называемых элементарных частиц (в списке Дирака это *проблема 3 – нуклоны и мезоны*), то возникли представления, согласно которым нуклоны и мезоны построены из нового типа своеобразных фермионов (кварков), взаимодействующих с помощью целого класса новых безмассовых полей (глюонов).

Проблема 6 (*гравитация*). С ней связан старый вопрос о принципе Маха[3]. Возможно, что более широкий принцип – "принцип существования пространства" ($g_{ik} \neq 0$, если только $T_{ik} \neq 0$) в случае ограничения решений уравнений Эйнштейна решениями Фридмана и де Ситтера (см. ниже) представляет собой и реализацию принципа Маха, и решение проблемы сингулярности космологических метрик.

Проблема 4 (*M/m*) в настоящее время представляет собой лишь часть *проблемы 3* (*нуклоны и мезоны*).

Проблема 2 ($e^2 / \hbar c$) остается интригующей проблемой:

$$\sqrt{\hbar c} = \sqrt{137} e\,?$$

Проблема 7 (*нейтрино*) к настоящему времени сильно усложнилась: возникли три различных по природе нейтрино. Случайно ли их число совпадет с числом измерений нашего пространства? Книгу "Нейтрино", изданную более четверти века назад (1964 г.), я закончил словами: «Современнику трудно гадать, какое истинное место займет нейтрино в физике будущего. Но свойства этой частицы столь элементарны и своеобразны, что естественно думать, что природа создала нейтрино с какими-то глубокими, пока для нас не всегда ясными "целями"...». Эти слова в полной мере остаются справедливыми до настоящего момента.

Но Дираку не было дано предвидеть воскрешение космологических идей де Ситтера, появление целой области теоретических исследований, связанных с теорией струн, роль симметрий в теории элементарных частиц и многое другое из "ста необыкновенных путей", что выпало на долю некоторым из "ста необыкновенных людей".

---

[3] Принцип, согласно которому метрическое поле g_{ik} полностью определяется материей, T_{ik}.

3. О ВОЗМОЖНЫХ МОДИФИКАЦИЯХ УРАВНЕНИЙ ЭЙНШТЕЙНА

Известно, что уравнения Эйнштейна удачно описывают современное состояние нашей Вселенной, точнее, части ее истории, и способны предсказать ее будущее в зависимости от знания точного значения средней плотности ее материи к данному моменту времени. Но теория в ее современном виде не способна описывать самый начальный момент истории как открытых, так и закрытых вариантов вселенных, а также конечные судьбы коллапсирующих звезд, точнее, черных дыр, которые возникают в отдельных участках Вселенной. Точнее, речь идет о сингулярностях классической теории гравитации в начальный момент истории Вселенной и в конечные моменты коллапсирующих объектов.

Другая, как оказалось потом, серьезная проблема, возникшая в очень острой форме, заслуживает предварительного небольшого исторического экскурса, связанного с Λ-членом.

Уравнение Эйнштейна писалось в виде

$$R_k^i - \frac{1}{2} R\delta_k^i - \Lambda\delta_k^i = \frac{8\pi\varkappa}{c^4} T_k^i. \qquad (3)$$

Λ-член – константа с размерностью l^{-2}, где l – величина размерностью длины. Согласно Фридману (1922–1924 гг.), это уравнение описывает как закрытые, так и открытые изотропные расширяющиеся вселенные.

С другой стороны, Λ-член мог бы быть отличным от нуля, независимо от истории его возникновения в теории. Тем более, что оказалась возможной экспериментальная оценка его величины. Во всяком случае, если Λ-член существует, то его численное значение в настоящее время очень мало: $\Lambda \leqslant 10^{-55}$ см$^{-2}$.

Уравнение вида

$$R_k^i - \frac{1}{2} R\delta_k^i - \Lambda\delta_k^i = 0 \qquad (4)$$

носит название уравнения де Ситтера.

Многими авторами полагалось, что уравнение де Ситтера описывает один из вариантов пустых вселенных.

В одной из ранних работ Эйнштейна (1918 г.) можно прочесть такое утверждение: "Решение де Ситтера ни в коей мере не соответствует миру без материи, а скорее соответствует миру, в котором вся материя сосредоточена на поверхности, что, вероятно, можно было бы доказать, переходя от объемного распределения материи к поверхностному".

Наши попытки проверить предложения Эйнштейна не привели к определенным результатам.

Сам Эйнштейн, как некоторые утверждают, в дальнейшем стал считать введение Λ-члена самой большой своей ошибкой.

Напомним, что в книге Толмена "Относительность, термодинамика и космология" (с. 359) сказано: "Модель де Ситтера – это такая модель, в которой давление и плотность связаны соотношением

$$\rho_{00} + p_0 = 0.$$

Собственная плотность материи ρ_{00} по своей физической природе может быть только положительной или нулевой величиной. Давление в принципе может быть и отрицательным, однако ни одна из существующих субстанций, которую мы здесь представляем себе как идеальную жидкость, даже если мы примем во внимание внутренние силы сцепления, не может создать такое отрицательное давление, которое в принятых единицах хотя бы отдаленно приближалось по абсолютной величине к плотности ρ_{00}".

Приведенное выше физическое толкование модели вселенной де Ситтера сохранилось, в сущности, без изменения в книге Хокинга и Дж. Эллиса, изданной в 1973 г. "Эти пространства (т.е. пространства де Ситтера. – *М.М.*) можно считать решениями уравнения в пустом пространстве с $\Lambda = R/4$ или решением для идеальной жидкости с постоянной плотностью $R/32\pi$ и постоянным давлением $-R/32\pi$. Однако эта трактовка, по-видимому, неприемлема, поскольку тогда или давление, или плотность должны быть отрицательными".

В известных учебниках Ландау и Лившица нет даже упоминания имени де Ситтера.

Если в настоящее время раскрыть любой журнал, посвященный вопросам теоретической физики, то не исключено, что имя де Ситтера на страницах данного журнала встретится десятки раз. Что же произошло такого, что так резко возрос интерес к вселенной де Ситтера? Дело в том, что в результате многих работ создалась довольно твердая уверенность, что очень ранняя вселенная должна быть вселенной типа де-ситтеровской с начальной плотностью энергии-импульса, близкой к планковской. Начало было положено соображениями Даукера и Критчли [20], которые обратили внимание на то, что с учетом конформной аномалии тензора энергии-импульса мир де Ситтера с плотностью энергии, близкой к планковской, оказывается согласованным с решением уравнения Эйнштейна с квантовыми поправками.

Далее внимание научной общественности привлекла к себе статья А.А. Старобинского под интригующим заглавием "Несингулярная модель с квантово-гравитационной стадией де Ситтера" [16, 17, 45].

Правда, хотя заглавие этой статьи себя не оправдывает и статья проблему сингулярности не решает, как это часто бывает со статьями такого рода, где не учитываются возможные возмущения, статья продолжает быть объектом внимания теоретиков, так как некоторые ее положения и общее направление сохраняют свой интерес.

Совсем в другом духе, после работы Старобинского, построена статья Гуса [24], которая, не касаясь проблем начальных условий возникновения вселенной, в дальнейшем инициировала ряд работ, особенно работу Линде [32], где рассматриваются, также исходя из де-ситтеровской фазы ранней вселенной, такие черты, которые необходимы для стыковки очень ранней вселенной с ее фридмановской фазой.

Вернувшись по времени назад, не только к периоду забвения вселенной де Ситтера, но, более того, враждебного отношения к ней[4], необходимо добрым словом

---

[4] "Трудно определить степень серьезности, с которой физик должен мыслить пустое пространство де Ситтера физически" (Дж. Синг. "Общая теория относительности").

упомянуть Э.Б. Глинера. Глинер публикует статью под названием "Вакуумообразное состояние среды и фридмановская космология" [2]. "Цель данной заметки, – пишет Глинер, – показать, что вакуумоподобное состояние физической среды (тензор энергии $T_{ik} = \Lambda g_{ik}$) может быть исходным пунктом любой из трех моделей Фридмана". Если вакуумоподобное состояние среды может стать исходным пунктом для любой из трех моделей Фридмана, то речь идет о вакуумоподобном состоянии среды как некоторой формы первоматерии. Это был "глас вопиющего в пустыне".

Мы видим, что Фридман оставил для далекого будущего как проблему ранней вселенной, так и, что важнее, проблему начальных условий.

Стало ясно, что уравнения Эйнштейна требуют серьезных модификаций.

Функция действия в теории гравитации Эйнштейна пишется в виде

$$S = \frac{c^4}{16\pi\varkappa}\int R\sqrt{-g}\,d^4x,$$

где $R = R(x, y, z, t)$ – масштабный фактор.

Вариация S по g_{ik} дает уравнения Эйнштейна

$$R^i_k - \frac{1}{2}R\delta^i_k = 0. \qquad (5)$$

Уравнения (5) описывают свободное гравитационное поле в отсутствие гравитирующей материи. В присутствии материи в правой части уравнения появляется тензор материи T^i_k :

$$R^i_k - \frac{1}{2}R\delta^i_k = \frac{8\pi\varkappa}{c^4}T^i_k, \qquad (6)$$

где $\varkappa$ – гравитационная постоянная.

Как уже упоминалось, в космологии эти уравнения неприменимы в самые ранние моменты истории вселенной. Спрашивается, возможна ли такая модификация уравнений (6) и соответствующего им выражения действия S, усложненного присутствием материи, которая остановила бы процесс гравитационного коллапса на некой длине l_0 при некотором значении плотности материи $\varepsilon_0 = c^2\rho_0$.

Для модификации классической функции действия и соответствующих уравнений (6) имеются три возможности.

Возможность А. Замена R в полном выражении функции действия, содержащего как гравитационное поле, так и материю, некоторой функцией от R, $R \to F(R)$. В общем случае F может быть функцией всех кривизн. Проблема сингулярности решается, если такая модифицированная функция S приведет автоматически к конечным значениям всех кривизн в процессе гравитационного коллапса.

Например, если максимальное значение тензора Римана в этой теории дается выражением

$$R_{ijkl}R^{ijkl} = l_0^{-4},$$

где l_0 – константа с размерностью длины.

Возможность A ведет к серьезному изменению левой части уравнения (6), но правая часть остается без изменения.

Возможность B. Вторая возможность – это модификация только правой части уравнения (6), где гравитационная константа $\varkappa$ заменяется на некоторую функцию от плотности энергии ε, именно такую, чтобы $\varkappa \to \varkappa_0\psi(\varepsilon/\varepsilon_0)$ с $\psi \to 0$ при $\varepsilon \to \varepsilon_0$.

В этом случае речь идет о существовании в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий, которая действительно обеспечивает конечную максимальную плотность материи в процессе коллапса. Очевидно, что вариант B непосредственно не касается модификации левой части уравнений (6). Этот вариант может решать полностью проблемы сингулярности в уравнении (6), содержащем материю.

Но он не имеет отношения к уравнению типа (5), описывающему поля типа казнеровских и т.п., если свободное гравитационное поле не превращается в процессе коллапса в гравитирующую материю, т.е. в материю, обладающую асимптотической свободой гравитационных взаимодействий. Сюда относится и гравитационное поле реликтовых гравитонов, видимо, существующих в нашей Вселенной. Это поле удовлетворяет свободному уравнению (5), и его "энергия" не учитывается членом T_k^i, стоящим в уравнении (6).

В нашем дальнейшем рассмотрении случаев A и B возникают основания полагать, что физическое содержание этих, казалось бы, столь различных формализмов на самом деле эквивалентно. Именно, как в случае A, так и в случае B обязаны существовать предельные конечные плотности материи, а в случае A, что совсем неочевидно, материя должна обладать асимптотической свободой гравитационных взаимодействий.

Возможность C. Но, может быть, нет необходимости менять классические уравнения гравитации? Может быть, квантовая форма этих уравнений автоматически решит космологические трудности классических уравнений? Такие соображения законны, и они часто высказываются. Прежде всего целесообразно напомнить судьбу этих высказываний применительно к известным трудностям теорий других, негравитационных полей.

Как известно, все другие классические поля, взятые в отдельности, содержат в каждом случае трудность бесконечного значения энергии их точечных источников.

С появлением уравнений Дирака возник вопрос: сохраняются ли эти трудности в электродинамике Дирака? Проведенные исследования дали общий ответ: квантовая теория любого из известных полей не решает обсуждаемой нами трудности. Часто можно услышать утверждение, что в отличие от других полей у нас нет квантовой теории гравитационного поля. Строго говоря, у нас есть квантовая теория всех полей в отдельности, в том числе и гравитационного поля, но только в случае слабых полей. Это утверждение имеет тот смысл, что вблизи точечного источника, например электромагнитного поля, когда оно становится сильным, необходимо учитывать взаимодействие электромагнитного поля электрона со всеми видами частиц, существующих в природе. Эти виртуальные процессы вносят свой вклад в собственную энергию электрона. Изложенную ситуацию можно сформулировать фразой: «Все, т.е. любая так называемая элементарная

частица, в указанном смысле "состоит из всего", т.е. из всего многообразия частиц» [2].

Как известно, расходящиеся выражения, возникающие в теориях классических полей, во многих случаях пытались исключить различными модификациями классических уравнений полей, сохраняя их релятивистскую форму. Например, с помощью введения в соответствующие волновые функции релятивистски-инвариантных обрывающих факторов, которые соответственно уменьшали бы вклад высоких частот в собственную энергию источника поля.

Были и другие релятивистски-инвариантные рецепты избавления от обсуждаемых трудностей, начиная от так называемого "лямбда-лимитинг" процесса до использования индефинитной метрики.

Все эти попытки решения проблемы расходимости в теории полей оказались неудачными. Они приводили к распространению сигнала в области сингулярности со сверхсветовыми скоростями. В области сингулярности как бы возникало бесконечно твердое ядро.

"Коварство" этих неудач вызвало недоумение – возникало противоречие с релятивизмом при, например, введении явно релятивистских выражений для формфакторов. Но, как выяснилось впоследствии, все недоразумения были связаны с использованием одного времени t, тогда как поле представляет собой систему, составленную из бесконечного числа частиц.

Как известно, последовательная релятивистски-инвариантная теория многих частиц требует введения многих времен. Такой многовременной формализм впервые был изложен в известной работе Дирака–Фока–Подольского для квантовой электродинамики конечного числа частиц. В классической (не квантовой) электродинамике многих тел этот формализм был изложен мною [10, 37].

Я пытался найти многовременной формализм для описания бесконечного числа фотонов (газ фотонов) для самого электромагнитного поля.

Такая проблема была решена Томонагой в 1946 г. [46]. В формализме Томонаги, а затем Швингера [43] каждой точке (x, y, z) пространственно-подобной поверхности приписывалось свое время $t(x, y, z)$. Я же безуспешно искал обобщение формализма Дирака–Фока–Подольского на спектр фотонов (газ фотонов), который должен был иметь непрерывную структуру. Не исключено, что такой формализм, эквивалентный формализму Томонаги, существует.

Появление уравнения Томонаги–Швингера сделало понятным законную неудачу всех прежних попыток ликвидировать расходимости в теории полей в рамках одного времени для всех пространственно-подобных точек.

В этом смысле историческое значение появления уравнения Томонаги–Швингера заключается в том, что все тем или иным образом модифицированные решения уравнений поля не являлись решениями уравнения Томонаги–Швингера – они не удовлетворяли условию интегрируемости уравнения Томонаги–Швингера, именно условию коммутативности соответствующих функций на пространственно-подобной поверхности, иначе говоря, требованию конечного значения скорости распространения сигнала.

Другими словами, эти направления поисков решения проблемы бесконечностей в теории полей полностью закрываются требованиями последовательной

релятивистской инвариантности много(бесконечно)-временно́го формализма уравнений Томонаги–Шзингера.

Как известно, в настоящее время широко развит и с большой практической пользой употребляется так называемый "метод перенормировок", с помощью которого из бесконечных выражений в теории полей выделяются конечные значения, которые с успехом используются в дальнейших вычислениях. К сожалению, этот способ выделения конечных величин из бесконечных их значений осуществляется лишь в рамках одного поля, т.е. пренебрегается вкладом всех других существующих полей. Но главное – эта процедура является процедурой, навязанной со стороны естественному формализму теории поля. Моя неприязнь к процедуре перенормировок поддерживается известным замечанием Дирака в предисловии к русскому изданию его книги, в котором он писал, что воздержался от изложения методов перенормировок, так как, по его мнению, они исчезнут в будущей последовательной теории поля. Более того, возникает подозрение, что, может быть, в законности метода перенормировок еще не до конца разобрались. Например, возникает вопрос, сохраняет ли формализм перенормировок локальность теории в областях, близких к области классической гравитационной сингулярности.

Выше содержалось замечание о том, что в собственную массу (энергию) источника любого поля вносят свой вклад все другие поля, не исключая и гравитацию. Но учет вклада гравитационного поля требует знания физических законов в области длины Планка

$$l_{\rm Pl} \sim 10^{-33} \text{ см}.$$

Во всяком случае, возможно, что существование в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий в сильных гравитационных полях, о которой речь пойдет в дальнейшем, кардинальным образом меняет всю ситуацию с проблемой перенормировок.

Для модификации функции действия S Эйнштейна были указаны три возможности – A, B, C, каждая из которых имела и имеет многих сторонников и, вероятно, будет иметь их в будущем, развитие которого непредсказуемо.

Можно указать многих авторов, работавших и работающих над модификацией левой части уравнения Эйнштейна, а также и многих авторов, в той или иной мере работавших над проблемами, обозначенными буквой C. Но в дальнейшем мы ограничимся проблемами, обозначенными буквой B, т.е. попытками рассмотреть варианты уравнений Эйнштейна, в правой части которых гравитационная постоянная $\varkappa$ заменена на некую функцию от плотности энергии.

4. МЕНЯЮЩАЯСЯ ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ

Впервые на изменение гравитационной постоянной решился Дирак (1938 г.), потом Иордан (1948–1955 гг.), потом Бранс, Дикке (1961 г.), Дикке (1962–1968 гг.). В некоторых из этих работ гравитационная постоянная $\varkappa$ заменена функцией const/$\varphi(x)$, где φ – функция точки. Эти работы имеют и современное продолжение.

Вначале речь пойдет о некоторых "игрушечных" моделях в рамках классической (не квантовой) космологии. Потом речь пойдет о более отдаленном будущем,

притом о таком будущем, характер которого автор предпочел бы обвести золотой рамкой: "Нам, к счастью, не дано видеть будущего". Но, видимо, есть глубокое и, возможно, естественное противоречие в самой науке – и, может быть, не надо себя ограничивать золотой рамкой. Видимо, научный риск просто необходим, как азарт спортивного стрелка, стремящегося из лука непременно попасть в десятку.

Выбор направления B в модификации уравнения Эйнштейна не случаен: возникли интуитивные соображения о возможном существовании в природе двух, скажем, законов, которые должны выполняться в уравнениях, адекватно ее описывающих. Возможно, что в природе

1) *существует асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий.* Именно, гравитационная постоянная $\varkappa_0$ заменяется функцией $\varkappa = \varkappa_0\psi(\varepsilon)$, где ε – плотность энергии в сопутствующей системе координат, а ψ стремится к нулю с ростом плотности энергии.

2) *существует предельно большое значение плотности энергии, а именно* ε_0.
В дальнейшем обсуждаются свойства воображаемых вселенных, в которых выполняются эти интуитивные допущения автора. Вначале эти воображаемые ("игрушечные") вселенные обсуждаются в рамках классической (не квантовой) космологии, т.е. их параметры берутся в пределах возможных классических измерений в нашей Вселенной.

В процессе размышлений над несовершенством современной теории Вселенной возник вопрос: нельзя ли найти макроскопическую модель, которая могла бы быть лишена некоторых фундаментальных трудностей фридмановской вселенной, а именно:

1) вселенная Фридмана при расширении в прошлом должна возникать из вселенной де Ситтера;

2) Λ-член в настоящий момент во вселенной Фридмана должен быть мал;

3) вселенная де Ситтера не должна иметь особенность при любых возмущениях.

Если такая модель возможна, возникает вопрос, какие проблемы в ней не решаются и какие необходимо решать. Для простоты рассматривается вариант пылевидной изотропной вселенной. Естественно полагать, что в этих случаях предельная плотность массы ρ_0 должна останавливать коллапс для пылевидной изотропной вселенной, а вместо гравитационной постоянной должна быть функция от безразмерной величины ρ/ρ_0.

Рука написала ad hoc следующее уравнение:

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} = \frac{8\pi\varkappa_0}{3c^2}\left[\rho\left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right) + \Lambda'\frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right], \tag{7}$$

где ρ – плотность массы пыли. Здесь a – масштабный фактор, $\Lambda' = (3c^2/8\pi\varkappa_0)\Lambda$, Λ – член $= 1/l_0^2$, где l_0 – какая-то постоянная длина.

Уравнение (7) обсуждается автором в ряде статей.

Присоединив к скобке $(1-\rho^2/\rho_0^2)$ гравитационную постоянную $\varkappa_0$, можно сказать, что гравитационная константа в (7) заменена некоторой функцией $\varkappa = \varkappa_0(1-\rho^2/\rho_0^2)$.

Физически это означает, что гравитационная постоянная заменяется некоторой функцией, численные значения которой падают с ростом плотности и которая при $\rho = \rho_0$ обращается в нуль.

В современной теоретической физике рассматриваются возможности асимптотических взаимодействий, величины констант которых уменьшаются с ростом передаваемого импульса, в пределе стремясь к нулю.

Из (7) следует, что минимальное значение a, при котором останавливается коллапс (т.е. когда $\dot{a}=0$), равно

$$a_{\min} \sim 1/\sqrt{\Lambda} = l_0,$$

а l_0 – константа с размерностью длины, которая пока не определена в нашей модели.

В этой "игрушечной" модели предельную плотность мы запишем в виде

$$\rho_0 \approx 10^{20}\ \text{г/см}^3,\quad \Lambda_0 \approx 10^{-6}\ \text{см}^{-2},\quad l_0 \approx 10^3\ \text{см},$$

а полную массу Вселенной примем равной $M_0 \approx 10^{55}$ г.

Величина $\rho_{\max}$, при которой останавливается коллапс вселенной, т.е. при $\dot{a}=0$, дается выражением $\rho_{\max} = \rho_0(1 - m_0/M_0) \approx \rho_0(1 - 10^{29}/10^{55})$, где $m_0 = V_{\min}\rho_{\max} \sim$ $\sim 10^9 \cdot 10^{20} = 10^{29}$ г.

$a_{\min}$, на котором останавливается коллапс, примерно равна l_0, вернее

$$a_{\min} \sim l_0(1 + m_0/M_0).$$

Согласно (7), плотность массы, которая возникает в конце коллапса, равна почти предельной

$$\rho_{\max} = \rho_0(1 - m_0/M_0).$$

В уравнении (7) ρ/ρ_0 характеризует эффективный Λ-член.

Вследствие малого значения плотности масс в современную эпоху

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} = \frac{8\pi\varkappa_0}{3c^2}\rho, \tag{8}$$

т.е. при $\rho \ll \rho_0$, уравнение (7) принимает вид уравнения Фридмана. При $\rho \approx \rho_0$

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} - \Lambda = 0 \tag{9}$$

возникает уравнение де Ситтера.

Но предложенное нами уравнение не получено из какой-либо функции действия S.

Последовательное изложение теории гравитации начинается с варьирования по g_{ik} функции действия

$$S = \frac{c^4}{16\pi\varkappa}\int (R + 2\varkappa\varepsilon)\sqrt{-g}\,d^4x.$$

Здесь $\varepsilon = \rho c^2$ – плотность энергии.

Мы предположили, что $\varkappa$ – не константа и зависит от плотности энергии

$$\varkappa = \varkappa_0 \psi\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right). \tag{10}$$

В этой статье не приведены какие-либо конкретные соображения о характере функции ψ, кроме замечания о том, что численное значение ее убывает с ростом плотности энергии. Вычисления ведутся в случае давления $p \neq 0$. Существенно заметить, что функция ψ должна иметь аргументом безразмерную величину. Это значит, что она должна зависеть от $\varepsilon/\varepsilon_0$, где ε_0 – пока неизвестная постоянная.

Для случая пылевидной материи

$$\varkappa = \varkappa_0 \psi\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right), \tag{11}$$

где ρ – плотность массы.

Если писать уравнение для пылевидной изотропной вселенной, то после варьирования по метрике левая часть уравнения Эйнштейна останется без изменения, но в правой части его, к нашему удивлению, и, скажем просто, радости, возникает добавочный Λ-образный член вида $-\rho^2(\partial\varkappa/\partial\rho)\delta^i_k$. В случае $p \neq 0$ он переходит в $\varepsilon^2(\partial\varkappa/\partial\varepsilon)\delta^i_k$.

Первый же член правой части уравнения получил множителем при ρ скобку

$$\left(\rho\frac{\partial\varkappa}{\partial\rho} + \varkappa\right). \tag{12}$$

Попытка привести уравнение к виду, близкому к (7), привела к необходимости взять $\varkappa$ в виде

$$\varkappa = \varkappa_0\left(1 - \frac{\rho^2}{3\rho_0^2}\right), \tag{13}$$

и тогда получаем

$$\left(\frac{\dot{a}}{c}\right)^2 + 1 = \frac{8\pi\varkappa a^2}{3c^2}\left[\rho\left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right) + \Lambda'\frac{\rho^3}{\rho_0^3}\right]. \tag{14}$$

Добавочные Λ-образные члены сильно повысили интерес к нашей пока "игрушечной" модели.

В журнале "Успехи физических наук" [11], по существу, изложены идеи, связанные с предложением моей модификации уравнения Эйнштейна.

Но текст статьи подан под скромным названием "О возможности существования в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий".

Текст статьи овеян некой грустью, в частности по поводу того, что асимптотическая свобода в предложенных примерах решает проблему гравитационной сингулярности только в изотропных моделях.

Существует много примеров, когда неизотропные возмущения, в частности казнеровские, делают эти модели сингулярными.

Но конкретные выражения для реализации асимптотической свободы, т.е. функции ψ, писались мною ad hoc. Может быть, можно найти функции, которые еще до достижения значения предельной плотности ρ_0 могли бы менять знак $\varkappa$ на обратный и создавать на каком-то участке коллапса замену сил притяжения на отталкивание, имитируя в правой части уравнения Эйнштейна появление отрицательной энергии, нарушающей энергодоминантность, что исключает сингулярность.

Оказывается, такие возможности, которые нарушают энергодоминантность, по существу, неограниченны.

Например,

$$\varkappa = \varkappa_0\left(1-\alpha_1\frac{\dot{\rho}}{\rho_0}\right), \tag{15}$$

где α_1 – константа, большая единицы, $\alpha_1 > 1$.

Теперь видоизмененное уравнение Эйнштейна принимает вид

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2+\frac{1}{a^2}=\frac{8\pi\varkappa_0}{3c^2}\left[\rho\left(1-\alpha_1\frac{2\rho}{\rho_0}\right)+\frac{\rho^2}{\rho_0^2}\alpha_1\rho_0\right]. \tag{16}$$

Если теперь набраться храбрости и составить ρ_0 из мировых констант, т.е. если положить $\rho_0 = c^5/\hbar\varkappa_0^2$, то, перенося второй член из правой части уравнения в левую, мы получим при $\rho \approx \rho_0$

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2+\frac{1}{a^2}-\frac{8\pi}{3}\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^2\frac{\alpha_1}{l_{\rm Pl}^2}=\frac{8\pi\varkappa_0}{3c^2}\rho(1-2\alpha_1), \tag{17}$$

т.е. $\Lambda_0=\dfrac{8\pi\alpha_1}{l_{\rm Pl}^2}$, где $l_{\rm Pl}$ – длина Планка[5].

[5] Правда, в классической физике, в которой присутствуют две константы взаимодействия: гравитационная константа $\varkappa$ и константа электрического заряда e, предельная плотность могла бы быть взята в виде $c^2/e^2\varkappa^2 \sim 10^{97}$ г/см^3, а предельная длина в виде $\dfrac{e\sqrt{\varkappa}}{c^2} \sim 10^{-34}$ см.

Собирая в правой части уравнения (16) два члена в один, мы получаем уравнение

$$\left(\frac{\dot{a}}{ca}\right)^2 + \frac{1}{a^2} = \frac{8\pi\varkappa_0}{3c^2}\rho\left(1 - \alpha_1\frac{\rho}{\rho_0}\right). \qquad (17')$$

Если $\alpha_1 > 1$, то правая часть уравнения при $\rho > \rho_0/\alpha_1$, меняя знак, становится отрицательной. При $\rho = \rho_0/\alpha_1$ она обращается в 0.

Другими словами, в какой-то момент коллапса гравитационное притяжение сменяется на отталкивание. Иначе говоря, энергия правой части становится отрицательной, причем, что существенно, еще при плотности $\rho < \rho_0$. Старое же уравнение (14) меняет знак правой части только при $\rho > \rho_0$, что запрещено предельным значением ρ_0.

Возмущения типа казнеровских в случае перемены знака энергии в правой части уравнения Эйнштейна по общему объему обращаются в нуль.

Несколько парадоксально выглядит следующая формулировка полученного нами результата. Если бы во время Фридмана (1922–1924 гг.) кому-либо пришла в голову идея непостоянной гравитационной константы, то, варьируя соответствующее действие по метрике, он мог бы решить проблему сингулярности и обнаружить, что ранняя вселенная имеет де-ситтерообразную метрику. Мы будем находиться в таком же положении, если не осмелимся взять константу ρ_0 из квантовой теории.

5. ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И ЭВОЛЮЦИЯ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

После того как программа статьи [11] выполнена, было бы целесообразно рассмотреть, как модицифируется вселенная Фридмана в условиях существования асимптотической свободы гравитационных взаимодействий. Уравнение, рассмотренное нами в случаях возмущения изотропных вселенных, не приводит к коллапсу до точечных размеров. Но имеется еще один вопрос, который почему-то обычно не считается существенным. В статьях, описывающих очень ранние вселенные, речь идет о вселенных, история которых начинается с $t > 10^{-43}$ с.

В этом присутствует элемент разумности, так как физика сверхранней вселенной требует научной осторожности, которая в какой-то мере нарушается и в так называемой очень ранней вселенной. Правда, пишут, что вначале ранняя вселенная характеризуется, например, каким-то первоначальным энергетическим сверхвозбуждением, которое и ответственно затем за первоначальный толчок разлетающейся материи.

В существующей литературе нельзя получить какого-либо вразумительного описания начального состояния инфляционного периода, кроме пояснения основной идеи: "Основное положение, на котором базируются все существующие варианты раздувающейся вселенной, состоит в том, что на самых ранних стадиях эволюции вселенная могла бы находиться в неустойчивом вакуумообразном состоянии, обладающем большой плотностью энергии".

Не знаю, насколько описанная нами модель антигравитирующего вещества приемлема для возникновения расширения вселенной после остановки ее коллапса.

Задача теории ранней вселенной состоит в том, чтобы заполнить всеми существующими в природе частицами вселенную в ее фридмановской фазе. Мы не можем выполнить эту задачу, так как полный спектр частиц пока нам неизвестен. Мы могли бы следовать другим авторам, ограничиваясь нуклонами и лептонами, используя судьбу симметрии. Мы бы решились на это, если бы к настоящему времени был бы экспериментально открыт бозон Хиггса.

В нашей модели вселенная возникает, в сущности, из пустого пространства де Ситтера. Мы критиковали не саму идею возникновения вселенной из пустого пространства, а способы выбора этого пространства. В моделях, которые мы описываем, материя возникает практически из пустого пространства де Ситтера, порождаясь Λ-образным членом модели в виде

$$\alpha_1 \frac{\rho}{\rho_0} \Lambda_0.$$

При этом $\alpha_1 \frac{\rho}{\rho_0}$ есть величина, в начальный момент развития вселенной настолько близкая к единице, что, в сущности, представляет собой призрачный символ, так как гравитирующая, т.е. наблюдаемая плотность массы

$$\rho\left(1-\alpha_1 \frac{\rho}{\rho_0}\right),$$

близка к 0.

На современном этапе именно этот член правой части уравнения Эйнштейна дает гравитирующую (измеримую) плотность массы за счет уменьшения грандиозной величины константы Λ-члена. В каком-то смысле Λ-член можно рассматривать как некий вид первоматерии, трансформация которого порождает все разнообразие частиц мира Фридмана.

Не лишено исторического интереса, что подобная среда де Ситтера очень близка к понятию первичного мира по Анаксагору [15].

По Анаксагору, первичная материя представляет собой какую-то измельченную смесь всех веществ, которые потом образуют все в этом мире. Эта форма материи лишена какой-либо способности движения. До начала космообразования бесконечно малые частицы этой среды первоначально покоились, каждая на своем месте, ибо не было ничего, что вынуждало бы их изменяться и перемещаться.

В современных вариантах сверхранней вселенной от первичной материи требуется, чтобы она имела свойства скаляра. Природа этого скаляра может быть в принципе различного происхождения. Нельзя, например, исключить, что этот скаляр является газом черных дыр. Холодный газ черных дыр в процессе хокинговского распада мог бы естественным образом создать горячую фазу фридмановского мира, для которой уравнение $p = 0$ уже непригодно.

При реализации обсуждаемой чернодырной гипотезы существенно более подробное знание свойств черной дыры. Именно, исчезает ли черная дыра полностью

в процессе хокинговского излучения? В частности, возможно ли существование черных дыр как угодно малых масс? Есть основания полагать, что предельно малая масса черной дыры определяется мировыми константами $\hbar, c, \varkappa_0$, а именно: $m_0 = \sqrt{\hbar c / \varkappa}$, и радиусом $l_0 = \sqrt{\hbar \varkappa / c^3} \sim 10^{-33}$ см. В статье [38] приведены соображения о возможном существовании верхней границы в спектре масс элементарных частиц. Если в природе существует фундаментальная длина $l_0 = \sqrt{\hbar \varkappa / c^3}$, то предельная энергия частицы с длиной волны l_0 равна

$$E = \frac{\hbar c}{l_0} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{\varkappa}} = m_{\max} c^2.$$

Таким образом, возникла гипотеза о существовании в природе максимально тяжелой элементарной частицы с массой $m_0 = 10^{-5}$ г, которая была названа "максимоном". Появление этой гипотезы не имело никакого отношения к возникшей позднее теории черных дыр. Впоследствии ряд авторов обсуждали возможности существования в природе такой частицы и предлагали для нее различные названия. Появление теории хокинговского излучения черных дыр [25] привело к пониманию того обстоятельства, что в процессах этого излучения неизбежно появится черная дыра с параметрами, характерными для максимона. Этот объект может быть назван и элементарной черной дырой. Он должен либо мгновенно исчезнуть, высвечивая в одном акте всю свою энергию, либо оставаться стабильным. Существует ряд статей, обосновывающих стабильность элементарной черной дыры [34, 36].

Имеется и, казалось бы, серьезное возражение против стабильности элементарных черных дыр, выдвинутое Хокингом. Согласно Хокингу [26], если в каком-либо замкнутом объеме возникает какое-либо число черных дыр, то при времени $t \to \infty$ они все должны исчезнуть.

Не входя в детали термодинамических аргументов Хокинга, следует заметить, что в замкнутом объеме, наполненном как угодно большим числом стабильных элементарных черных дыр, они должны исчезать путем слияния двух или нескольких из них в большую черную дыру, которая должна высвечиваться затем до элементарной стабильной черной дыры. Таким образом, из как угодно большого начального числа элементарных стабильных черных дыр остается лишь одна элементарная черная дыра. В качестве первичной скалярной материи сверхранней вселенной можно использовать и газ стабильных элементарных черных дыр (максимонов), так как имеется реальная возможность превращения газа стабильных элементарных черных дыр в процессе инфляции в горячую материю фридмановской вселенной. Газ черных дыр как первичная скалярная материя представляет собой наибольший интерес в случае закрытой вселенной, для которой после фазы инфляции и конечного максимального расширения предстоит фаза коллапса, которую можно назвать фазой очень поздней вселенной. Естественно предполагать, что очень поздняя вселенная должна вернуться в свою исходную, деситтерообразную фазу. Другими словами, все разнообразие полей и частиц во фридмановской фазе вселенной снова должно вернуться к своей первичной скалярной форме. В условиях большой плотности всех форм материи в конечной

фазе коллапса кажется возможной идея превращения всей материи снова в скалярный газ черных дыр. Асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий дает формализм де-ситтеровской симметрии очень ранней и очень поздней закрытых вселенных. Первичная материя в форме черных дыр дает пример физики такой симметрии.

Выражения $\sqrt{\hbar c/\varkappa}$ и $\sqrt{\hbar\varkappa/c^3}$, которые определяют свойства максимонов, могут в принципе содержать какие-то коэффициенты. При этом может оказаться, что материя максимона может не находиться под сферой Шварцшильда и частицы максимальной массы не будут иметь основания называться черными дырами, а некоторые и стабильными частицами.

Две частицы, каждая с массой $m_{\max}$, могут образовывать заведомо нестабильную черную дыру, по массе большую, чем элементарная черная дыра, которая затем может излучить свои излишки энергии.

К сожалению, непосредственные данные о состоянии Вселенной в далекие эпохи могут быть только косвенными.

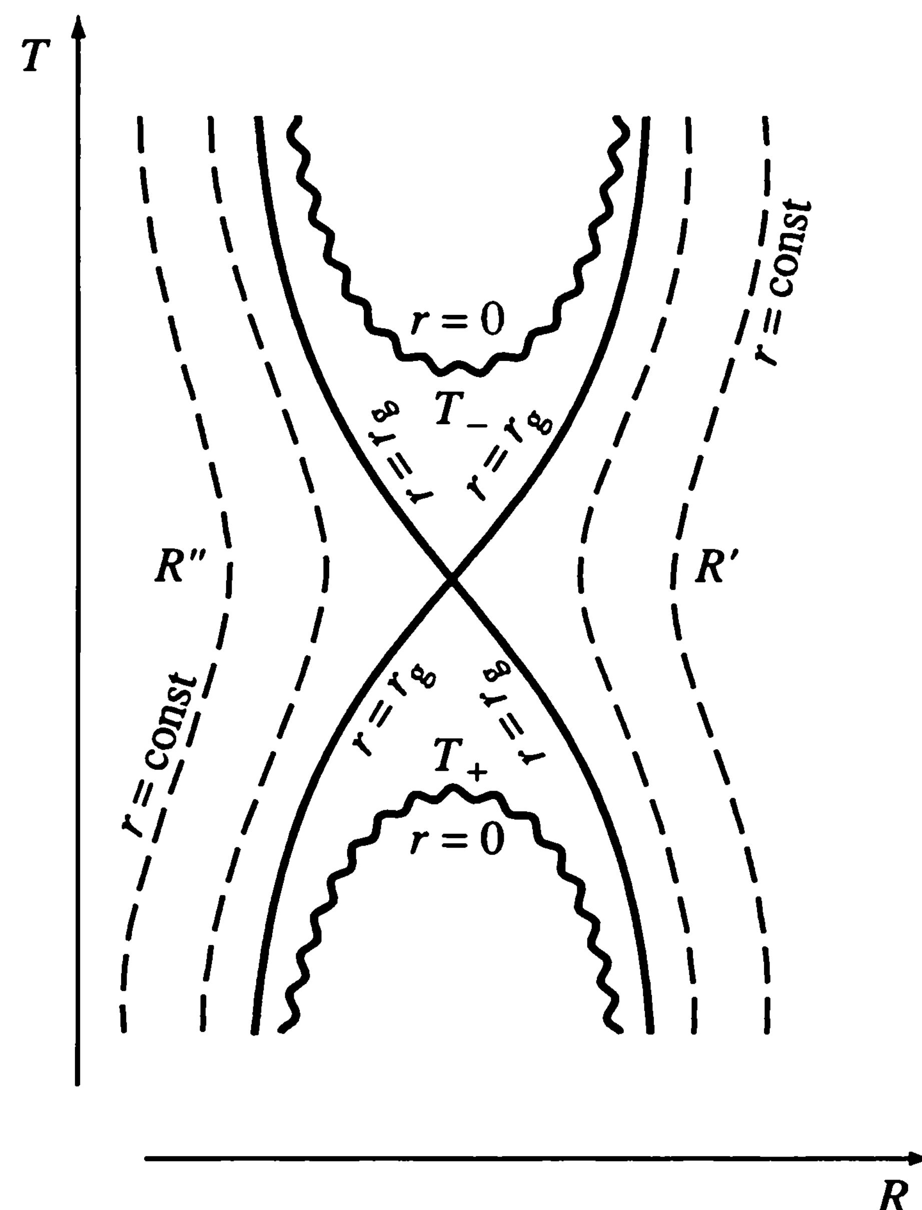
Может случиться, что наша Вселенная не является закрытой, тогда отсутствует проблема сингулярности поздней вселенной.

Но массивная звезда, существующая как в открытой, так и в закрытой вселенной, охлаждается в процессе излучения и со временем превращается в нейтронную звезду. При достаточно большой массе нейтронная звезда продолжает сжиматься гравитационными силами, и может наступить такой момент, когда вся ее масса окажется под сферой Шварцшильда. Таким образом, возникает черная дыра и вместе с тем проблема коллапса и сингулярности. Коллапс черной дыры существенно отличается от коллапса закрытой вселенной. Если для закрытой вселенной, хотя бы в принципе, мыслима вечно осциллирующая модель, в которой коллапс сменяется расширением, то такая возможность для черной дыры исключена. Дело в том, что полное описание пространства–времени Шварцшильда дается диаграммой Крускала [31]. В полной диаграмме пространства–времени Крускала траектория свободной частицы должна исходить из сингулярности или бесконечности и оканчиваться в бесконечности или сингулярности.

Диаграмма Крускала содержит под сферой Шварцшильда две области, одна из которых – T_--область, куда частица попадает, пересекая извне поверхность Шварцшильда. В этой области частица обязана закончить свое движение, двигаясь к сингулярности. Для частицы, возникшей в сингулярности, имеется область T_+, в которой траектория частицы, рожденной в сингулярности, обязана двигаться в T_+-области от сингулярности изнутри к поверхности Шварцшильда и, пересекая ее, двигаться в пространстве вне сферы Шварцшильда.

Это так называемое второе пространство R'', отличное от R'-пространства, в котором частица попадает под сферу Шварцшильда и двигается к сингулярности в R'-области. Если бы каким-либо образом частица, пришедшая из T_--пространства, могла бы появиться вблизи сингулярности в T_+-области, то, пересекая поверхность Шварцшильда, она оказывалась бы во втором пространстве, где время снова отсчитывается от нуля. Другими словами, второе пространство в таком случае находилось бы в абсолютном будущем по отношению к первому пространству.

Диаграмма Крускала



Напомним, что более двадцати лет назад (точнее, в 1966 г.) в "Астрономическом журнале" появилась статья И.Д. Новикова под названием "Смена сжатия расширением и физические особенности при сжатии" [14]. В этой статье в рамках классической физики рассматривается судьба (т.е. "траектория") коллапсирующей электрически заряженной звезды. Именно электрическое поле материи останавливает ее коллапс. В этом случае автор пришел к выводу, что черная дыра после "остановки" коллапса в T_--области диаграммы Крускала начнет расширяться в T_+-область и выйдет в другое R''-пространство, лежащее в абсолютном будущем к исходному Шварцшильдовскому R'-пространству.

Но данный конкретный случай электрически заряженной звезды оказался неудачным, потому что в случае учета рождения частиц электромагнитным полем звезды остановка коллапса просто не происходит.

Но если какая-нибудь модификация уравнений Эйнштейна сохраняет конечное значение всех кривизн в процессе коллапса, то черная дыра не продвигается в своем движении до сингулярности и можно, воспользовавшись соображениями статьи [14], утверждать, что в этом случае материя черной дыры может оказаться в T_+-области и, двигаясь под сферой Шварцшильда в направлении от сингулярности, должна пересечь поверхность Шварцшильда и оказаться во втором R''-пространстве, образуя в нем новую вселенную.

На конференции, посвященной столетию со дня рождения А.А. Фридмана (1988 г.), мой доклад на эту тему был озаглавлен "Коллапс звезд как возможный источник закрытых и полузакрытых вселенных" [39].

В 1990 г. в "Phys. Rev." [21] появилась статья трех авторов с моим участием на ту же тему под заглавием "Black Holes as possible Sources of Closed and Semiclosed Worlds". Следует иметь в виду, что развитие новых вселенных происходит в R''-пространствах во временах, абсолютно будущих по отношению к временам вселенных, где происходит образование черных дыр. Например, в работе [39] в связи с этим сказано, что наша Вселенная, может быть, возникла из черной дыры, которая образовалась в некой Вселенной, существовавшей в абсолютном прошлом времени, т.е. которое было исчерпано в процессе существования черной дыры, и отсчет его в новой вселенной начинается снова с нуля. Так как в процессе существования вселенной в случае ее коллапса черных дыр образуется много, то мы не-

сколько конкретизируем процесс распада очень поздней вселенной на множество вселенных, о котором шла речь в вечно осциллирующей модели вселенной.

Если предыдущие соображения о возникновении вселенных справедливы, то много новых явлений может реализоваться в космологии. Можно напомнить, что еще в 1928 г. Джинс [29] высказал предположение, что в "центрах туманностей материя втекает в наш мир из иного постороннего пространства". Новиков [13] и Нееман [41], высказывали соображения, что галактики – это особые участки нашей Вселенной, которые по каким-то причинам отстали во времени в своем развитии от целой Вселенной. Это отставание во времени было бы объяснимо, если бы галактики вливались в нашу Вселенную из других вселенных в тех процессах, о которых речь шла выше.

В настоящее время, когда как будто успешно развивается теория галактик как результат возмущений в истории Вселенной, я бы опустил последние замечания о галактиках, если бы не возникло большое искушение напомнить о Джинсе.

Лет двадцать тому назад (1973 г.), воодушевленный статьей О. Клейна [30] о возможности полузакрытых миров, я опубликовал статью под названием "Микро-макросимметрическая вселенная" [9], которой предпослал первые две строфы из стихотворения Брюсова "Мир электрона":

Быть может, эти электроны –
Миры, где пять материков,
Искусство, знанья, войны, троны
И память сорока веков.

Еще, быть может, каждый атом –
Вселенная, где сто планет;
Там все, что здесь в объеме сжатом,
Но также то, чего здесь нет.

В основе статьи, о которой идет речь, лежит внутренне непротиворечивая возможность, напоминающая известное высказывание Дирака, которым заканчивается одна из его работ: "Было бы странным, если бы природа не использовала эту возможность". И вот такая возможность возникла.

Здесь речь идет о вселенной с как угодно большими горловинами, которая содержит внешнюю массу данной вселенной. Возможно, что эта масса могла бы излучаться объектом, как и в случае обычной черной дыры. В статье [9] этот объект был даже назван черной дырой второго рода. Если масса горловины может излучаться полностью, то возникла бы закрытая вселенная. Если при этом остается предельно малая масса горловины, то данная вселенная будет вести себя во внешнем пространстве, как есть основания предполагать, в виде максимона. Таким образом, не исключено, что наша Вселенная наполнена огромным количеством частиц, часть из которых на самом деле является вселенными.

Подводя итог, можно сказать, что Вселенная в целом может оказаться своеобразной структурой, состоящей из множества вселенных, развивающихся в своих пространственных и временны́х координатах. Эту Вселенную нельзя изобразить на бумажном листе как множество вселенных [4]. Она скорее напоминает русскую

куклу "матрешку". Только внутри каждой из "матрешек" содержится множество других "матрешек" и т.д. Такой образ Вселенной в целом обсуждается в статьях [11, 40]. Естественно, такая Вселенная в целом не имеет ни начала, ни конца.

6. О ПРИНЦИПЕ МАХА. КАКИЕ ВСЕЛЕННЫЕ ВОЗМОЖНЫ?

Что меня действительно интересует,
это имел ли Бог выбор, когда он создавал Мир.

А. Эйнштейн

В цикле обсуждаемых нами работ по космологии в этом десятилетии стоит упомянуть обсуждение проблем, связанных с принципом Маха [1, 23, 33, 44].

Как известно, уравнения Эйнштейна содержат большое количество разнообразных космологических решений. Современное состояние Вселенной довольно хорошо описывается решениями уравнений Эйнштейна, найденными А.А. Фридманом. Но эти решения непригодны для описания очень ранней вселенной. Более того, для очень ранней вселенной оказываются естественными решения типа де Ситтера. Спрашивается, нельзя ли ограничить "божественные" возможности этими двумя типами решений? Для исследования поставленной проблемы оказывается удобной запись уравнений Эйнштейна в виде, аналогичном интегральному уравнению Янга–Фельдмана в теории поля

$$g_{ik} = \frac{8\pi\varkappa}{c^4}\int G_{ik}^{jl} T_{jl}\sqrt{-g}\,d^4y + \Lambda_{ik}, \tag{18}$$

где G_{ik}^{jl} – аналог функции Грина, Λ_{ik} – свободное гравитационное поле. Если в этом уравнении положить $\Lambda_{ik} = 0$, то g_{ik} отлично от нуля только если $T_{ik} \neq 0$.

Другими словами, в этой теории пространство существует лишь в том случае, когда $T_{ik} \neq 0$, т.е. само существование пространства связано с наличием материи. Этим "принципом существования пространства" сразу лишается смысла рождение вселенной "из ничего", существование "пустых пространств", начиная с пространства Минковского, и даже асимптотически плоских метрик типа Шварцшильда. Много лет существовало мнение, что пространство де Ситтера представляет собой также пустое пространство. Это мнение основывалось на том, что соответствующая этому случаю материя должна обладать состоянием $\varepsilon + p = 0$, где ε – плотность энергии, p – давление. А такая материя не встречается в природе. Но постепенно пришли к пониманию, что речь идет об очень ранней вселенной. Такое состояние материи возможно. Условие $\Lambda_{ik} \neq 0$ не означает также отсутствия возникновения гравитационных волн. Но в данном четырехмерном мире они всегда должны иметь материальный источник своего возникновения.

Уравнение с $\Lambda_{ik} \neq 0$ рассматривалось рядом авторов с точки зрения наличия или отсутствия в теории Эйнштейна принципа Маха. Вследствие математической сложности исследования уравнения (18) работы в этом направлении не дали определенных результатов. Мной было предложено В.К. Мальцеву ограничиться иссле-

дованием конформно плоских пространств, $g_{ik} = \varphi^2(x)\eta_{ik}$, где

$$\eta_{ik} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

В отличие от работ других авторов здесь вместо десяти величин g_{ik} требуется найти одну функцию $\varphi(x)$.

Для определения одной функции $\varphi(x)$ нами использовалось уравнение Эйнштейна в виде [6, 35]

$$R = \frac{8\pi\varkappa}{c^4} T, \quad T = T_{ik} g^{ik}.$$

В этих случаях удалось показать, что в числе допустимых метрик этого формализма существуют решения как фридмановского, так и де-ситтеровского типа [5]. Не исключено, что "божественные" возможности, о которых писал Эйнштейн, ограничиваются такой цепочкой вселенных Фридмана и де Ситтера.

Однако наиболее интересным результатом этого упрощения (скалярного) формализма гравитации является то, что в случае $\Lambda_{ik} = 0$ при наличии массивного центрального тела пробное тело не взаимодействует по закону Ньютона с массивным центральным телом M, т.е. движение пробного тела в этом случае не регистрирует существование как угодно большой массы M центрального тела. Значение массы просто выпадает из обычного уравнения движения пробного тела. Но если массу пробного тела μ учесть наравне с массой центрального тела M, то тогда возникает между ними ньютоновское взаимодействие. Возможно, это одно из характерных свойств физики, в которой справедлив принцип Маха, правда, в очень обедненной "скалярной" теории гравитации. Но этот результат вселяет некоторую веру в то, что более основательное исследование интегрального уравнения (18) может привести к доказательству существования принципа Маха.

Реализация принципа Маха в интегральном формализме теории гравитации привлекательна тем, что свободное гравитационное поле возникает в этой теории только за счет материи.

Если в интегральном формализме ввести условие асимптотической свободы гравитационного поля, то возникновение свободных гравитационных волн за счет тензора материи может оказаться под влиянием фактора, характеризующего асимптотическую свободу.

А то обстоятельство, что возникающий псевдотензор энергии гравитационного поля в этом формализме автоматически интегрируется по всему четырехмерному пространству, оставляет надежду [28], что появляющаяся таким образом энергия (масса) гравитационного поля действительно характеризуется асимптотической свободой. Другими словами, проблема сингулярности, которая нас занимала на предыдущих страницах и которую мы пытались решить, в частности, в рамках физических квантовых эффектов, при реализации принципа Маха может быть

решена в общем виде еще в классической физике. Но эти интуитивные соображения пока не подтверждены математически и, скорее всего, не соответствуют действительности, если в этом случае не происходит "полная изааксонизация" гравитационного излучения, т.е. если псевдотензор излученного поля в каждом акте излучения не приобретает свойство тензора (во всяком случае, в уравнении типа (18), в котором $\varkappa$ была бы создана функцией типа (15)).

7. О ВОЗМОЖНОМ СУЩЕСТВОВАНИИ ОСОБОЙ ФИЗИКИ "УЛЬТРАМИКРОМИРА" В ОБЛАСТИ ПЛАНКОВСКИХ ДЛИН

На предыдущих страницах мы рассматривали проблему, предполагая, что в области, близкой к сингулярности, классические свойства пространства–времени полностью сохраняются в области длин, меньших планковских, и времен, меньших 10^{-43} с.

Еще полвека назад (1940 г.) для преодоления трудности с сингулярностью в теории полей была предложена идея нелокальности в форме некоммутативности полей $\varphi(x)$ и координаты x, другими словами, идея некоммутативности координат [7], что вело также к распространению сигнала со скоростью, большей скорости света. Может быть, целесообразно изменить точку зрения о недопустимости мгновенных сигналов в космологии на обсуждаемых планковских длинах. Эта возможность обсуждается в статье [21].

В случае бесконечной скорости сигнала на пути $l_{\min}$ теряет свой смысл время как расстояние l, деленное на скорость v, т.е. $t = l_{\min}/v = 0$.

Если области T_+ и T_- на диаграмме Крускала разделены абсолютно твердым ядром радиуса, равного длине Планка, то материя черной дыры в процессе коллапса, достигая расстояния $l_{\min}$ от сингулярности в T_+-области, оказывается мгновенно на расстоянии $l_{\min}$ от сингулярности в T_--области. Другими словами, обладая таким свойством, критическая длина $l_{\min}$ как бы не существует в пространстве. И, вероятно, в этом случае нарушается закон сохранения энергии.

Необязательно пространство представлять в виде какой-то решетки. Например, классические свойства пространство могло бы терять только в области предельной плотности материи. Кстати, для измерения предельно малой длины наблюдатель неизбежно должен использовать соответствующую малую длину волны, т.е. квант энергии, отвечающей предельной плотности материи. Такое толкование физики предельной длины, по-видимому, не ведет к наблюдаемым нарушениями причинности в микромире, нарушениям макроскопической связи между настоящим и будущим: $\Delta t = 0$.

На предыдущих страницах высказано скорее скептическое отношение к решению обсуждаемых проблем гравитационного коллапса в рамках будущей квантовой теории сильного гравитационного поля. Но естественное присутствие длины Планка $l_{\mathrm{Pl}} = \sqrt{\hbar\varkappa / c^3}$ в конечном выражении тензора кривизны

Римана:

$$R_{ikjl}R^{ikjl}=\frac{1}{l_{\rm Pl}^4},$$

вернее, присутствие постоянной Планка в данном формализме, кажется, сильно свидетельствует не в пользу упоминаемого скепсиса. Но в [7] рассматривается возможность появления фундаментальной длины, связанной с нарушением классических характеристик самого пространства, которые в квантовой теории не имеют места (можно допустить, например, некоммутативность координат, выражение для которых могло бы содержать $\hbar$). Согласно предыдущему, не исключено, что очень ранняя и очень поздняя вселенные описываются гидродинамической материей в форме холодного газа черных дыр.

Конечно, очень соблазнительно образ этой развиваемой нами теории классической вселенной, ее истории, расширить до предельно малых размеров, приняв в качестве предельной плотности выражение, состоящее из мировых констант:

$$\rho_0=\frac{c^5}{\hbar\varkappa^2}.$$

Тогда предельно малые размеры в истории вселенной действительно определяются длиной Планка

$$l_{\min}=\sqrt{\frac{\hbar\varkappa}{c^3}}.$$

Очевидно, и это следует подчеркнуть, что в этом случае мы вступаем в область гипотез, которые пока не подтверждены каким-либо формализмом. Конечно, повторяем, не исключено, что квантование сильного нелинейного гравитационного поля в будущей теории автоматически приведет к существованию в природе такой предельной длины, но также возможно, что эти надежды не оправдаются. Конечно, появление в выражении $l_{\min}$ постоянной Планка делает естественной идею связать появление $l_{\rm Pl}$ с формализмом квантовой механики. Но здесь нужна и некоторая осторожность: квантовая теория всех других полей не содержит такого рода предельную длину. Формализм квантовой механики формируется в рамках классических представлений о пространстве и справедлив при как угодно малых длинах.

С другой стороны, нужна известная смелость утверждать, что наше представление о пространстве справедливо до любых малых размеров. Нельзя исключить a priori такую ситуацию, когда физика квантовой механики существенно модифицируется при наличии в природе предельной длины. Обычно существование предельной длины связывается с представлением о пространстве как о некоторой решетке. Здесь скорее идет речь о своеобразном отсутствии длин, меньших планковских, и лишь в областях, где возникает предельная плотность материи. Еще раз подчеркнем, что в классической интерпретации отсутствие длин, меньших планковских, могло бы иллюстрироваться малой областью типа бесконечно твердого шарика, в которой сигнал распространяется с бесконечной скоростью, так что понятие длительности сигнала (времени его распространения) отсутствует [42]. В случае появления вселенных в результате эволюции черных дыр в принципе не

исключается нарушение всех законов сохранения. Если угодно, в этом образе пространство вблизи классической сингулярности интерпретируется в духе черного ящика, о котором идет речь в известной статье Уилера [47]. Не исключено, что в "ультрамикромире" при возникновении предельной плотности царит "беззаконие", а сама постоянная Планка появляется как комбинация мировых констант:

$$\hbar = \frac{c^5}{\varkappa_0^2 \rho_0}.$$

Предлагаемая модель вселенной в целом – совокупность вселенных, рождающихся и развивающихся в своих пространствах и временах. Если она в каком-то смысле соответствует действительности, то возникает вопрос о том, что представляют собой эти отдельные вселенные. Например, мы не знаем, является ли наша Вселенная открытой или закрытой. Не исключен также вопрос: возможно ли существование вселенной полностью закрытой, если в принципе возможно появление в ней материи черных дыр из вселенных, существовавших в абсолютно прошлом времени по отношению к временам данной вселенной, или просто потому, что существование предельной длины не позволяет вселенной полностью закрыться?

В статьях, посвященных развиваемой нами модели вселенной в целом, часто используется в качестве первоматерии в инфляционной фазе очень ранней вселенной газ черных дыр вместо обычно обсуждаемого скалярного поля. Такая первоматерия содержит ряд привлекательных черт, но эта гипотеза органически не связана с обсуждаемой нами моделью вселенной в целом. Но, кажется, она имеет право на обсуждение. Также имеет право на обсуждение и "темная" (несветящаяся) материя в виде стабильных элементарных черных дыр или частиц, масса которых выражается в виде

$$m = \alpha \sqrt{\left(\frac{\hbar c}{\varkappa_0}\right)}.$$

Но α такова, что материя этих частиц не находится, например, под сферой Шварцшильда. Любопытно, что такие частицы, в том числе и стабильные элементарные черные дыры, практически не взаимодействуют с обычной материей, но довольно сильно взаимодействуют друг с другом:

$$E = \frac{\varkappa_0 m^2}{r} = \alpha^2 \frac{\hbar c}{r}.$$

При $\alpha = 1$ две такие частицы взаимодействуют друг с другом на два порядка сильнее, чем кулоновски взаимодействуют два электрона... Но наиболее интересное научное событие, которое привлекло внимание автора, – это появление препринта (В.П. Фролов и др.), озаглавленного "Wormholes as devices for study of black holes interior" [22]. Как известно, существуют возражения против применимости боровской интерпретации квантовой теории, например, для таких объектов, как закрытые вселенные, как физика материи под сферой Шварцшильда. Существование "кротовых нор" вписывается в общую картину той мысленной модели, о

которой речь шла выше, в том смысле, что множественные вселенные представляют собой некий связанный организм.

Следует также упомянуть, что если асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий действительно ведет к конечному значению предельной кривизны, то на основании результатов статьи [21] в принципе возможно создание новых вселенных в лаборатории, если в лаборатории можно получать черные дыры, сжимая какое-то количество материи за ее гравитационный радиус. Но также надо подчеркнуть, что эта возможность может реализоваться и в любой другой космологической теории, в которой существует предельное значение кривизны. Существование асимптотической свободы гравитационных взаимодействий может существенно изменить теорию элементарных частиц. Это, например, касается электродинамики, если сохранится современный характер этой теории с ее логарифмической расходимостью. Существование в природе предельной плотности энергии, естественно, меняет формализм электродинамики. И фундаментальная значимость роли гравитационного поля в этом плане была подчеркнута еще в статьях Маркова (1947 г.) [8], Ландау и Померанчука (1955 г.) [3].

Появление свободного гравитационного поля во вселенной, заполненной материей, доставляло бы, как следует из статьи автора, много забот. При попытках решения этой проблемы возник ряд гипотез, которые пока имеют право на существование.

Как неполноту данного обзора следует отметить отсутствие в нем даже упоминания о новых теориях, именно попытках искать новые возможности в теории гравитации на основе своеобразных свойств, в частности теории струн.

Здесь мы имеем в виду, например, статью [42], в которой утверждается, что вблизи классической сингулярности возникает область не лоренцевой, а евклидовой метрики[6] и вся вселенная представляет собой совокупность вселенных, связанных "кротовыми норами". Не исключено, что при всем различии "струнного" подхода и обсуждаемого нами формализма последующая полная картина вселенной может иметь много общих черт.

Может быть, когда-нибудь окажется возможным и экспериментально обнаружить уменьшение гравитационной постоянной в условиях большой плотности материи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Альтшулер Б.* // ЖЭТФ. 1966. Т. 51. С. 1143.

2. *Глинер Э.Б.* // Докл. АН СССР. 1943. Т. 7. С. 42.

3. *Ландау Л.Д., Померанчук И.Я.* // Там же. 1955. Т. 103. С. 489.

4. *Линде А.Д.* Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М.: Наука, 1990.

5. *Мальцев В.К.* // ТМФ. 1990. Т. 83. С. 476.

6. *Мальцев В.К., Марков М.А.* // Тр. ФИАН. 1977. Т. 97. С. 11.

7. *Марков М.А.* // ЖЭТФ. 1940. Т. 10. С. 1311.

---

[6] Этот результат, казалось бы, близок или даже аналогичен обсуждаемым нами возможностям существования своеобразной "субмикрофизики" при планковских или субпланковских длинах.

8. *Марков М.А.* // Там же. 1947. Т. 17, вып. 9. С. 848.
9. *Марков М.А.* // Будущее науки. М.: Знание, 1973.
10. *Марков М.А.* О природе материи. М.: Наука, 1976.
11. *Марков М.А.* // Успехи физ. наук. 1994. Т. 63, № 1. С. 164.
12. *Муханов В.Ф.* // Письма в ЖЭТФ. 1985. Т. 33. С. 549.
13. *Новиков И.Д.* // Астрон. журн. 1964. Т. 41. С. 1075.
14. *Новиков И.Д.* // Там же. 1966. Т. 43. С. 911.
15. *Рожанский И.Д.* Анаксагор. М.: Мысль, 1983. С. 29.
16. *Старобинский А.А.* // Квантовая гравитация. М., 1981.
17. *Старобинский А.А.* // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 30. С. 682.
18. *Фредерикс В.К., Фридман А.А.* Основы теории относительности. Л., 1924.
19. *Bauch T.S.* // J. Phys. A. 1981. Vol. 14. P. L 39.
20. *Douker J.S., Critchley R.* // Phys. Rev. D. 1976. Vol. 13. P. 3224.
21. *Frolov V.P., Markov M.A., Mukhanov B.F.* // Ibid. 1990. Vol. 41. P. 383.
22. *Frolov V.P.* et al. Wormholes as devices for study of black holes interior. Preprint 93/8A. NORDITA, 1993.
23. *Gilman R.C.* // Phys. Rev. D. 1970. Vol. 2. P. 1400.
24. *Guth A.H.* // Ibid. 1981. Vol. 23. P. 347.
25. *Hawking S.W.* // Commun. Math. Phys. 1975. Vol. 43. P. 199.
26. *Hawking S.W.* // Phys. Rev. D. 1976. Vol. 14. P. 2460.
27. *Hilbert D.* Die Grundlage der Physik. Götting. Nachr. 1915. Nov.
28. *Isaacson R.A.* // Phys. Rev. A. 1968. Vol. 166. P. 1263.
29. *Jeans J.* Astronomy and cosmology. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1928.
30. *Klein O.* Werner Heisenberg und die Physik unserer Zeit. Braunshweig: Vieweg, 1961. S. 345.
31. *Kruskal M.D.* // Phys. Rev. 1960. Vol. 119. P. 1743.
32. *Linde A.D.* // Phys. Lett. B. 1982. Vol. 108. P. 389.
33. *Linden-Bell D.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1967. Vol. 135. P. 413.
34. *MacGibbon J.H.* // Nature. 1987. Vol. 329. P. 308.
35. *Maltsev V.K., Markov M.A.* On integral formulation of Mach principle in conformally flat space. Dubna, 1976. (Prepr. / JINR E-2977).
36. *Maltsev V.K., Markov M.A.* Quantum miniobjects in general relativity. Moscow, 1980. (Prepr. / INR; P-160).
37. *Markov M.A.* // Phys. Ztschr. Sowjetunion. 1943. Bd. 7. S. 42.
38. *Markov M.A.* // Progr. Theor. Phys. 1965. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa.
39. *Markov M.A.* // Friedmann A.A.: Centenary volume. Singapore, 1988.
40. *Markov M.A.* // Phys. Lett. A. 1990. Vol. 151. P. 5.
41. *Neeman Y.N.* // ASJ. 1969. Vol. 141. P. 1303.
42. *Perry M.J., Teo E.* Nonsingularity of the exact two-dimensional string black hole. DAMTP. Cambridge, 1993. (Preprint R93/1).
43. *Schwinger J.* // Phys. Rev. 1948. Vol. 74. P. 1439.
44. *Sciama D.W.* // Month. Notic. Roy. Astron. Soc. 1954. Vol. 34. P. 113.
45. *Starobinsky A.A.* // Phys. Lett. B. 1980. Vol. 91. P. 99.
46. *Tomonaga S.* // Progr. Theor. Phys. 1946. Vol. 27. P. 1.
47. *Wheeler J.A.* // Gravitation and relativity. N.Y.; Amsterdam: Benjamin, 1964.

СПИСОК ТРУДОВ М.А. МАРКОВА

1933

On the quantum mechanical stability of benzol molecule // J. Chem. Phys. Vol. 1. Nov. P. 784–788.

Начало неопределенности в квантовой механике и принцип причинности // Успехи физ. наук. Т. 13, вып. 1. С. 1–36. Соавтор *Ф. Гальперин*.

1934

A contribution to Dirac's theory of permutations // Acta phys. chim. URSS. Vol. 1. P. 56–63. Co-author *G. Rumer*.

1935

О векторной модели Дирака в сложных спектрах // ЖЭТФ. Т. 5, вып. 6. С. 478–485.

О роли обменного вырождения в векторной модели атома // Докл. АН СССР. Т. 3, № 3. С. 103–104.

1936

Знание "прошлого" и "будущего" в квантовой механике // ЖЭТФ. Т. 6, вып. 1. С. 9–12.

1937

К теории электрона Дирака. Ч. 1 // ЖЭТФ. Т. 7, вып. 5. С. 579–614. На нем. яз. (1936): Zur Diracschen Theorie des Elektrons. I Teil // Phys. Ztschr. Sowjetunion. Bd. 10. S. 773–808.

К теории электрона Дирака. Ч. 2 // Там же. Т. 7. С. 601–613. На нем. яз.: Zur Diracschen Theorie des Elektrons. II Teil // Ibid. Bd. 11. S. 284–296.

Das Quantenpostulat und Begriff des elektromagnetisches Feldes // Phys. Ztschr. Sowjetunion. Bd. 12. S. 105.

1938

К квантовой электродинамике // ЖЭТФ. Т. 8, вып. 2. С. 124–126.

Неупругое рассеяние фотонов на ядрах с рождением пар // Докл. АН СССР. Т. 20, № 2/3. С. 125–127.

1939

О роли нулевых состояний осцилляторов электромагнитного поля в высших приближениях квантовой электродинамики // Докл. АН СССР. Т. 23, № 9. С. 876–879.

Замечание к квантовой теории поля // Там же. Т. 24, № 3. С. 233–236.

1940

О "четырехмерно протяженном" электроне в релятивистской квантовой области // ЖЭТФ. Т. 10, вып. 12. С. 1311–1338.

1943

Das Mehrkörperproblem in der klassischen relativistischen Theorie (die Methode von Dirac, Fock, Podolsky in der klassischen Elektrodynamik) // J. Phys. Vol. 7, N 1. P. 42–47.

О взаимодействии элементарных частиц: Диссертация на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук.

О релятивистско-инвариантном "обрывающем факторе" в электродинамике // Докл. АН СССР. Т. 40, № 1. С. 21–22.

Электродинамика Дирака–Фока–Подольского и собственная масса электрона // Там же. Т. 40, № 6. С. 246–247.

Является ли собственное поле частиц наблюдаемой величиной? // Там же. Т. 41, № 1. С. 15–18.

1946

Об одном критерии релятивистской инвариантности // ЖЭТФ. Т. 16, вып. 9. С. 789–790.

Об обратном действии электромагнитного поля движущегося электрона // Там же. С. 800–809.

Затруднения теории излучения // Успехи физ. наук. Т. 29, вып. 3/4. С. 269–304.

1947

Высшие приближения квантовой теории в случае взаимодействия двух закрепленных источников посредством скалярно-мезонного поля // ЖЭТФ. Т. 17, вып. 7. С. 661–666.

Письмо в редакцию. О предельном λ-процессе // Там же. Вып. 9. С. 848.

О природе физического знания // Вопр. философии. № 2. С. 140–176.

1948

Классический аналог квантовой теории возмущений // ЖЭТФ. Т. 18, вып. 6. С. 510–514.

Теория β-распада при низкой верхней границе β-спектра // Там же. Вып. 10. С. 903–907.

Собственная энергия движущегося заряда // Там же. Вып. 12. С. 1130–1133.

1949

К парной теории ядерных сил // ЖЭТФ. Т. 19, вып. 2. С. 178–180. Соавтор *Ю.М. Ломсадзе.*

Захват отрицательных мезонов атомными ядрами с точки зрения парной теории ядерных сил // Там же. Вып. 4. С. 292–296. Соавтор *В. Лебедев.*

1950

О различии частиц и античастиц, подчиняющихся уравнению Дирака. Ч. 1 // ЖЭТФ. Т. 20, вып. 3. С. 286–288.

Мезонные эффекты на дейтоне // Докл. АН СССР. 1950. Т. 75, № 5. С. 655–658.

1951

О нелокализуемых полях // ЖЭТФ. Т. 21, вып. 1. С. 11–15.

О различии частиц и античастиц, подчиняющихся уравнению Дирака. Ч. 2 // Там же. Вып. 7. С. 761–769.

1953

О нелокальных полях и сложной природе "элементарных" частиц (динамически деформируемый формфактор) // Успехи физ. наук. Т. 51, вып. 3. С. 317–341.

Динамически деформируемый формфактор элементарных частиц // ЖЭТФ. Т. 25, вып. 5(11). С. 527–539.

1955

К теории Λ^0-частицы // ЖЭТФ. Т. 29, вып. 1 (7). С. 111. Соавтор *П.С. Исаев.*

К теории динамически деформируемого формфактора // Докл. АН СССР. Т. 101, № 1. С. 51–54.

Гипероны как возбужденные состояния нуклонов. Возможный механизм множественного рождения частиц // Там же. № 3. С. 449–452.

О систематике элементарных частиц. М.: Изд-во АН СССР. 23 с.

О возможном β-распаде гиперонов и К-мезонов // ЖЭТФ. Т. 28, вып. 6. С. 740. Соавтор *В. Стаханов.*

1956

Замечание к систематике гиперонов и тяжелых мезонов // Докл. АН СССР. Т. 106, № 5. С. 814–817.

On dynamically deformable form factors in the theory of elementary particles // Nuovo cim. Ser. X. Vol. 3, N 4, suppl. P. 760–772.

1957

Гипероны и K-мезоны. Литография.

1959

An example of a field theory with indefinite metric in Hilbert space. Pt I // Nucl. Phys. Vol. 10. P. 140.

An example of a field theory with indefinite metric in Hilbert space. Pt II // Ibid. Vol. 12. P. 190. Co-author *A.A. Komar*.

Об одном варианте нелокальной теории электромагнитного поля // ЖЭТФ. Т. 36, вып. 3. С. 854–858. Соавтор *А.А. Комар*.

On the classification of fundamental particles // Proc. of VI Intern. conf. on high-energy physics. Rochester. Vol. 8. P. 31.

1960

К физике нейтрино высоких энергий. Дубна. 5 с. (Препр. / ОИЯИ; Д-577).

О современной форме атомизма (о понятии элементарной частицы) // Вопр. философии. № 3. С. 47–60.

О современной форме атомизма (о будущей теории элементарных частиц) // Там же. № 4. С. 125–135.

On high-energy neutrino physics // Proc. of the X Intern. conf. on high-energy physics. Rochester. P. 579–581.

1961

On high-energy neutrino physics in cosmic rays // Nucl. Phys. Vol. 27. P. 385–394. Co-author *I.M. Zheleznykh*.

1962

On high-energy neutrino physics in cosmic rays // J. Phys. Soc. Japan. Vol. 17, suppl. A-III. P. 353–356. Co-authors *V.A. Kuzmin, G.T. Zatsepin, I.M. Zheleznykh*.

К нейтринной физике в космических лучах // Изв. АН СССР. Т. 26. С. 738–781. Соавторы *И.М. Железных, Г.Т. Зацепин, В.А. Кузьмин*.

Нейтральные барионные токи и одиночное рождение гиперонов // ЖЭТФ. Т. 42, вып. 1. С. 273–274. Соавтор *Нгуен Ван-хьеу*.

1964

Difference between muon and electron masses // Nucl. Phys. Vol. 55. P. 130.

Нейтрино. М.: Наука.

On possible existence of neutrino superstars // Phys. Lett. Vol. 10, N 1. P. 122–123.

On possibility of neutrino atmospheres of celestial bodies. Dubna. (Prepr. / JINR; E-1752).

1965

Об одной возможности детектирования промежуточного мезона с массой большей двух нуклонных масс // Ядер. физика. Т. 1, вып. 2. С. 303–308. Соавтор *И.М. Железных*.

Can the gravitation field prove essential for the theory of elementary particles? // Progr. Theor. Phys. Suppl.: Commemoration issue for the 30th anniversary of the meson theory by Dr. H. Yukawa. P. 85–95. На рус. яз.: Может ли гравитационное поле оказаться существенным в теории элементарных частиц? // Альберт Эйнштейн и теория относительности. М.: Мир, 1979. С. 467–478.

1966

Элементарные частицы максимально больших масс (кварки, максимоны) // ЖЭТФ. Т. 51, вып. 3(9). С. 878–890.

О возможности существования кваркового состояния вещества в звезде // Там же. Вып. 6(12). С. 1689–1692. Соавтор *В.И. Манько*.

1968

К поискам более тяжелых гиперонов. Дубна. (Препр. / ОИЯИ; Р2-4017). Соавтор *Ф. Тихонов*.

1969

Замкнутость вселенной и законы сохранения электрического, барионного и лептонного зарядов. Дубна. С. 4534. (Препр. / ОИЯИ; Д-2).

Принцип Маха и физический вакуум в общей теории относительности // Проблемы теоретической физики. М.: Наука. С. 26–27.

Form factors and total cross sections of weak and electromagnetic interactions. Dubna. (Prepr. / JINR; E2-4370).

1970

К теории фридмонов (о роли гравитации в теории элементарных частиц). Дубна. (Препр. / ОИЯИ; Р2-5289).

Электрически нейтральные поля векторных мезонов и предельные плотности вещества коллапсирующих систем // ТМФ. Т. 3. С. 161–165. Соавтор *В.А. Березин*.

On the extended particle model in the general theory of relativity. Dubna. (Prepr. / JINR; E2-5271).

Метрика закрытого мира Фридмана, возмущенная электрическим зарядом (к теории электромагнитных "фридмонов") // ТМФ. Т. 3, № 1. С. 3–16. Соавтор *В.П. Фролов*.

О понятии первоматерии // Вопр. философии. № 4. С. 66–75.

1972

О минимальных размерах частиц в общей теории относительности // ТМФ. Т. 13, № 1. С. 41–60. Соавтор *В.П. Фролов*.

Оценки константы взаимодействия барионного поля Янга–Ли в свете существования реликтового излучения // Проблемы теоретической физики. М.: Наука. С. 17–24. Соавтор *В.А. Березин*.

Потенциалы типа a_n/r^n, $n > 1$ в коллапсирующих системах общей теории относительности // ТМФ. Т. 12. С. 153–163. Соавтор *В.А. Березин*.

1973

Глобальные свойства вещества в коллапсированном состоянии (черные дыры) // Успехи физ. наук. Т. 111, вып. 1. С. 3–28.

Будущее науки (ускорители элементарных частиц следующих поколений). Там же. Вып. 4. С. 719-742.

Замкнутые миры, содержащие источники массивного векторного поля // ТМФ. Т. 16, № 1. С. 70–75. Соавтор *В.П. Фролов*.

Свойства фридмонов и ранняя стадия эволюции вселенной // ТМФ. Т. 17. С. 160. Соавтор *В.И. Манько*.

К регуляризующей роли гравитационного поля // ЖЭТФ. Т. 64, вып. 4. С. 1105–1109.

The future of high-energy physics: Is a higher energy accelerator necessary? Dubna. (Rep. / JINR; P2-7079).

Макро-микросимметрическая вселенная // Будущее науки. М.: Знание. Вып. 6. С. 68–81.

1974

On black and white holes // Symp. Proc. "Gravitational Radiation and Gravitational Collapse" / Ed. C. DeWitt-Morette. L. P. 106–131.

1975

On possible conceptual difficulties of quantum field theories involving gravitation. Dubna. 15 p. (Prepr. / JINR; E2-8838).

On quarks, partons and a possible global bootstrap. Dubna. 11 p. (Prepr. / JINR; E2-8572).

On possible nonlocality of quantum field theories involving gravitation. Trieste. 9 p. (Prepr. / Intern. Centre for theor. phys.; IC/75/168).

1976

О природе материи. М.: Наука. 216 с.

1977

К вопросу о сингулярности в модели де Ситтера // Тр. ФИАН. Т. 96. С. 3–10. Соавтор *В.К. Мальцев.*

К интегральной формулировке принципа Маха в конформно-плоском пространстве // Там же. С. 11–19. Соавтор *В.К. Мальцев.*

1978

On the stability of elementary black holes.Trieste. 15 p. (Prepr. / Intern. centre for theor. phys.; IC/78/41).

1979

Максимоны и гипотеза максимонных роев // Письма в ЖЭТФ. Т. 29, вып. 6. С. 372–374. Соавтор *В.П. Фролов.*

Современные проблемы теории относительности // Вестн. АН СССР. № 4. С. 70–73.

1980

Quantum mini-objects in general relativity (quantum closed Friedmann mini-world, quantum black mini-holes). Moscow. 8 p. (Prepr. / INR; IYAI-P-0160). Co-author *V.K. Mal'tsev.*

On baryon asymmetry of the Universe. Moscow. 6 p. (Prepr. / INR; IYAI-P-0162).

Mystery of large and small numbers in cosmology. Moscow. 6 p. (Prepr. / INR; IYAI-P-0182).

On quantum violation of topology in small spatial regions. Moscow. 7 p. (Prepr. / INR; IYAI-P-0187).

1981

On the upper limit of the cosmic ray energy spectrum (DUMAND-type experiments). Moscow. 9 p. (Prepr. / INR; IYAI-P-0197).

Maximon-type scenario of the universe (Big Bang, Small Bang, Micro Bang). Moscow. 8 p. (Prepr. / INR; IYAI-P-0207).

On the maximon and the concept of elementary particle. Moscow. 6 p. (Prepr. / INR; IYAI-P-0208).

Is a perpetually oscillating universe possible that passes through the region near the classical singularity in a state of metastable de Sitter universe? Moscow. 12 p. (Prepr. / INR; IYAI-P-0227).

Из воспоминаний о С.И. Вавилове // Природа. № 3 (787). С. 64–71.

С.И. Вавилов и теория относительности // Вопр. истории естествознания и техники. Т. 3. С. 37.

1982

Предельная плотность материи как универсальный закон природы // Письма в ЖЭТФ. Т. 36, вып. 6. С. 214–216.

О возможности исследования космических лучей супервысоких энергий (> 10^{20} эВ) // Там же. С. 216–219. Соавторы *Г.А. Гусев, Л.Г. Деденко, И М. Железных.*

1983

Some remarks on the problem of very early universe // The very early universe. Cambridge: Cambridge Univ. press. P. 353–371.

Asymptotic freedom and entropy in a perpetually oscillating universe // Phys. Lett. A. Vol. 94, № 9. P. 427–429.

1984

Осциллирующая вселенная в случае $p \neq 0$ // ТМФ. Т. 58, № 2. С. 163–168. Соавтор *Э. Г. Аман.*

On the problems of a very early universe // Phys. Lett. A. Vol. 104, № 4. P. 200–203. Co-author *V.F. Mukhanov.*

Problems of a perpetually oscillating universe // Ann. Phys. Vol. 155, № 2. P. 333–356.

1985

De Sitter-like initial state of the universe as a result of asymptotical disappearance of gravitational interactions of matter // Nuovo cim. B. Vol. 86, № 1. P. 97–102. Co-author *V.F. Mukhanov.*

Ранние работы по слабым взаимодействиям в СССР // Вопр. истории естествознания и техники. Т. 1. С. 20–32.

1986

О возможном числе различных сортов нейтрино // Письма в ЖЭТФ. Т. 43, вып. 10. С. 453–455. Соавтор *В.И. Манько.*

Макро-микросимметрическая вселенная // Теоретико-групповые методы в физике: Труды третьего семинара, Юрмала, 22–24 мая 1985. М.: Наука. С. 7–41.

Large-scale Cherenkov detectors in ocean, atmosphere and ice // Nucl. Instrum. and Meth. A. Vol. 248. P. 242–251. Co-author *I.M. Zheleznykh.*

1987

О "максимоне" и "минимоне" в свете возможной формулировки понятия "элементарной частицы" // Письма в ЖЭТФ. Т. 45, вып. 3. С. 115–117.

Существуют ли абсолютно закрытые вселенные? // Там же. Т. 45, вып. 2. С. 61–64.

О возможном состоянии вещества на предпоследней стадии коллапса. Там же. Т. 46, вып. 9. С. 342–345.

О физическом толковании уравнения Шредингера и волновая функция вселенной: Докл. на IV семинаре по квантовой гравитации. М. 9 с.

Физические эффекты в гравитационном поле черных дыр // Тр. ФИАН. Т. 197. С. 169.

1988

Размышляя о физике... М.: Наука. 300 с.

Classical preferable basis in quantum mechanics // Phys. Lett. A. Vol. 127, № 5. P. 251–254. Co-author *V.F. Mukhanov.*

1989

Through a black hole into a new universe? // Phys. Lett. B. Vol. 216, № 3/4. P. 272–276. Co-authors *V.P. Frolov, V.F. Mukhanov.*

Физика нейтрино сверхвысоких энергий // Тр. ФИАН. Т. 197. С. 41.

Классический предел в квантовой механике и предпочтительный базис // Там же. С. 3. Соавтор *В.Ф. Муханов.*

Asymptotic freedom and entropy in a perpetually oscillating universe // Group theoretical methods in physics. Zvenigorod. Vol. 2. P. 427–429.

1990

The universe as a whole is a composite system of numberless sets of universes that are also composite // Phys. Lett. A. Vol. 151, № 1/2. P. 15–17.

Black holes as possible sources of closed and semiclosed worlds // Phys. Rev. D. Vol. 41, № 2. P. 383–394. Coautors *V.P Frolov, V.F. Mukhanov.*

1991

О трех интерпретациях квантовой механики (об образовании понятия объективной реальности в человеческой практике). М.: Наука. 386 с.

1992

First observations of high-energy cosmic ray events obtained in coincidence between eas-top and LVD at Gran Sasso // Nuovo cim. A. Vol. 105. P. 1815–1817.

1993

The problem of dark matter and stable elementary black holes (maximons) // Phys. Lett. A. Vol. 172. P. 331–332.

Размышляя о физиках... о физике... о мире... М.: Наука. 254 с.

1994

Nestor: A neutrino particle astrophysics underwater laboratory for the Mediterranean // Nucl. Phys. Proc. Suppl. Vol. 35. P. 294.

О возможном существовании в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий // Успехи физ. наук. Т. 164, № 1. С. 63–75.

Может ли асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий нарушить энергодоминантность классической космологии? // Там же. № 9. С. 979–981.

Present status of the LVD experiment in the Gran Sasso laboratory // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. Vol. 58. P. 206.

1995

Neutrino induced and atmospheric single muon fluxes measured over five decades of intensity by LVD at Gran Sasso laboratory // Astropart. Phys. Vol. 3. P. 311.

1998

Размышляя о вселенной // Элементарные частицы и атом. ядро. Т. 29. С. 529–565.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Александров А.П. 397
Алиханов А.И. 422, 449
Алиханян А.И. 422
Алкофер О. 468
Альвен Х. 386
Амальди Е. 420
Аман Э.Г. 220
Амбарцумян В.А. 397
Анаксагор 213, 247, 308, 442, 616
Анаксимен 213
Андерсон Ф. 334, 337, 338, 352, 353, 357
Андерсон Ч. 410
Андронов А.А. 452
Аристотель 455
Арновит Р. 49
Арцимович Л.А. 333, 451
Асанов Р.А. 449
Афанасьева (-Эренфест) Т. 407
Афродита 440, 602

Бааде В. 410, 411
Балдин А.М. 456
Басов Н.Г. 398
Бессель-Гаген 406
Блекет П. 460
Блохинцев Д.И. 354, 422, 438, 453
Боголюбов Н.Н. 397
Бонди Х. (Г.) 215
Бор Н. 249, 250, 410, 420, 446, 471–473, 475, 476
Борн М. 152, 405, 429
Бранс Ч. 610
Брегг В.Г. 334, 335
Бройль де Л. 409, 433
Брумберг Е.М. 454
Брюсов В. 317, 620
Булгаков М.А. 470, 471

Вавилов С.И. 405, 407, 447, 452–460, 470
Вайскопф В. 338, 405, 411, 414, 421, 428
Валуев Б.Н. 449
Ватагин Г. 420, 429, 438, 469–471
Вейнберг С. 128, 214
Велихов Е.П. 398
Векслер В.И. 447, 455, 456
Венцель Г. 346, 420, 424, 438, 470
Вернов С.Н. 470
Виноградов А.П. 398
Вирасоро М.А. 427
Витт Де Б.С. 19, 56, 230, 231, 234, 237

Гайтлер В. 405
Галатея 440, 602
Гамов Г.А. 452, 471
Гаудсмит С. 409
Гейзенберг В. 18, 348, 419, 420, 424, 429, 438, 470, 472, 473, 476
Гелл-Манн М. 346, 419
Гераклит 213
Гильберт Д. 347, 440, 602
Гинзбург В.Л. 230, 333, 338, 340, 341, 347, 349, 350, 406, 407
Гиппократ 359
Гитлер А. 360
Глешоу С.Л. 214
Глинер Э.Б. 212, 213, 308, 607
Гольд Т. 215
Гольданский В.И. 385, 387
Гольдхабер Дж. 425
Гордон У. 406, 412–414
Гранин Д. 387
Грегори Б. 333
Гринстейн Дж. 355, 357
Грошев Л.В. 456
Гупта С.Н. 42, 54–56
Гус А. 214, 215, 308, 606

Дайсон Ф. 333–337, 356
Дарвин Ч. 476
Даукер Дж. 606
Дезер С. 49
Дейч Д. 254
Джинс Дж. 316, 458, 620
Дикке Р. 610
Дирак П.А.М. 7, 9, 10, 80, 81, 83, 222, 302–304, 318, 406, 410, 413, 414, 419, 427, 429, 437, 438, 452, 470, 603, 604, 608–610, 620
Домогацкий Г.В. 469

Евклид 459

Жданов Г.Б. 448
Железных И.М. 449, 463, 469

Зацепин Г.Т. 450
Зельдович Я.Б. 43, 214, 243, 399, 419, 444
Зиро-Маки 425

Иваненко Д.Д. 422, 452
Изаксон Р. 313
Израель В. 89
Инфельд Л. 152
Иордан П. 222, 610

Калбертсон Э. 382
Калуца Т. 407
Кант И. 253, 359, 455
Картер Б. 89
Кендал Г. 345
Кеплер Й. 17
Киржниц Д.А. 214, 230
Клавдий 358
Клейн О. 43, 49, 125, 220, 242, 317, 318, 620
Коба 425
Конопинский Э. 419
Котельников В.А. 399
Коуэн Ч. 411
Коэл Ч. 334
Крайский Б. 385
Крепс Е.М. 399
Критчли Р. 606
Кронинг Л. 409
Крускал М. 67, 68, 445
Крутков Ю.А. 601
Кудрявцев В.И. 398
Кузьмин В.А. 451
Купер 84

Ландау Л.Д. 39, 40, 45, 323, 406, 420, 424, 447, 452, 606, 626
Ландсберг Г.С. 452, 453
Лебедев П.Н. 450, 453, 459, 460
Ледерман Л. 449
Лейрнид Дж. 464, 468
Леонтович М.А. 452, 453

Ли Т.Д. 7, 8, 46, 603
Линде А.Д. 214, 215, 229, 236, 606
Лифшиц Е.М. 443, 447, 606
Лоренц Г. 359
Лоу Ф. 419
Любушин А.А. 230

Майкельсон Р. 458
Максвелл Дж.К. 20
Мальцев В.К. 229, 230, 314, 319, 621
Мамаев С.Г. 213
Мандельштам Л.И. 452, 453, 461, 462, 472
Маркс Дж. 419, 453
Маршак Р. 449
Махмуд Х. 419
Меликьян А.Б. 454
Меллер С. 48
Мещеряков М.Г. 448, 455
Мизнер Ч. 49
Милликен М. 347
Мильтон Дж. 360
Минц А.Л. 454, 455
Михайлов В.В. 456
Мияки С. 468
Мостепаненко В.М. 213
Мусхелишвили Н.И. 400
Муханов В.Ф. 222, 236, 247

Нарликар Дж. 215, 224
Несмеянов А.Н. 400
Никишов А.И. 37
Новиков И.Д. 43, 57, 67, 68, 70, 77, 243, 315, 316, 445, 619, 620
Ньютон И. 458, 459
Нэеман Ю. 316, 620

Овчинников Ю.А. 400
Окунь Л.Б. 425, 426
Опарин А.И. 401
Оппенгеймер Дж. 410
Осборн Г. 382

Паерлс Р. 421
Пальмс У. 385
Пановский В. 345
Папандреу П. 385
Папапетру А. 80
Паули В. 406, 410–414, 418–421, 433, 438, 449, 470
Пауэлл И. 423, 424
Пауэлл С. 386, 421–424
Пенроуз Р. 327–329
Перри М. 324
Пигмалион 440, 602
Пирани Ф. 215
Планк М. 347, 359
Платон 382
Плиний Ст. 358, 362
Подольский Б. 303, 437, 471, 472, 474–476, 609
Полинг Л. 367, 406
Полубаринов И. 425, 449
Поманский А.А. 463
Померанчук И.Я. 323, 438, 626
Помпей Великий 358
Понтекорво Б.М. 419, 420, 447, 448, 450, 451
Порсена 358
Прока М. 414, 418
Прохоров А.М. 397
Пьеро 452

Рабинович Е. 381
Радунская И. 428
Райнс Д. 445
Раман Ч.В. 423
Рассел Б. 366, 374, 377, 385–387
Резерфорд Э. 334, 336, 345, 353, 361
Рейнес Ф. 411, 463, 464, 467–469
Розен Н. 327, 471, 472, 476
Розенфельд Л. 475, 476
Роллан Р. 371, 378
Ротблат А. 385
Рузвельт Ф. 380, 382
Румер Ю.Б. 405–408, 432
Рэндалл Э. 381

Саката Ш. 424–426, 429, 430
Салам А. 128, 214, 431
Саньяк 458
Семенов Н.Н. 399
Синг Дж. 446, 606
Ситтер де В. 117, 441, 606
Скобельцын Д.В. 422, 448
Скрябин Г.К. 402
Смородинский Я.А. 402
Старобинский А.А. 213, 215, 606
Стодола А. 459
Стырикович М.А. 401

Тамм Н.В. 462
Тамм И.Е. 430, 452, 453, 460–462
Таникава 437
Теллер Э. 405
Тео Е. 324
Толман Р. 24, 212, 220, 472, 474, 475, 605
Томонага С. 303, 304, 429, 430, 437, 438, 470, 609
Томсон Дж. Дж. 426
Топчиев А.С. 407, 423
Трумэн Г. 380, 382
Тэтчер М. 387

Уилер Дж. 73, 209, 211, 227, 228, 230, 231–235, 255–257, 305, 322, 443, 446, 625
Уленбек Г. 409

Факиров Д.Ж. 449
Фалес 213
Фарадей М. 348
Фейнман Р. 56, 346
Ферми Э. 97, 343, 346, 408, 419, 424, 425
Фок В.А. 55, 224, 250, 303, 306, 437, 609
Форд Г. 336
Форстер Ф.В. 382
Франк И.М. 456
Фредерикс В.К. 347, 440, 446, 602
Фридман А.А. 7, 316, 318, 347, 439–441, 445–447, 601–605, 607, 615, 619, 621
Фролов В.П. 50, 309, 323, 625
Фукс Р. 359

Хаббл Э. 439, 601
Хайдаров А.А. 448
Халатников И.М. 443
Хартль Дж. Б. 230
Хиггс П.У. 616
Хинкс Э. 448
Ходжкинс Д. 385, 424
Хойл Ф. 215, 224, 409
Хокинг С. 212, 214, 230, 237, 238, 242, 243, 309, 606, 617
Холдрен Дж. 385
Хохлов А.С. 401

Цвейг Г. 346

Чемберлен Н. 380
Чудаков А.Е. 468

Шапошников 406
Шапиро М. 468
Шарпли Х. 381
Шварц М. 449
Шварцшильд К. 11, 20
Швейцер А. 368, 371
Швингер Ю. 303, 470, 609
Ширак Ж. 387
Шредингер Э. 254, 419, 472
Штраус Э. 459
Штюкельберг Е. 20

Щербаков М.Г. 448

Эверетт Г. 234, 252, 255
Эддингтон А. 458
Эйлер Л. 432
Эйнштейн А. 7, 10, 11, 22, 42, 75, 209, 247, 251, 253, 307, 319, 348, 359, 366, 377–385, 387, 405, 407, 420, 421, 439, 440, 444, 446, 447, 458, 459, 471, 472, 474–476, 601, 602, 605, 610, 621, 622
Эллис Дж. 212, 606
Эренфест П. 254, 407, 408, 452, 453

Юкава С. 432–436
Юкава Х. 13, 15, 20, 419, 423, 425, 428–437, 470

Янг Ц.Н. 46, 346, 424, 425

Ambartsumyan V.A. 105, 148, 164, 165
Anaxagoras 294
Asanov R.A. 117

Bekenstein J. 109
Berezin V.A. 165, 170
Bonnor W.B. 108
Born M. 196

Carter B. 285
Castagnino M. 285
Chernin A.D. 145

Democritus 136

Eddington A. 187
Einstein A. 101, 195, 197, 198

Farhi E. 272
Fermi E. 119
Feynman R. 141, 143
Fischer I. 113, 114
Fock V.A. 205
Frolov V.P. 103, 106, 109, 122, 156, 157, 162, 165, 170, 182, 295, 297

Gelfand I.M. 132
Guth A. 272

Hartle J.B. 118
Hawking S.W. 110, 112, 136, 141, 142, 194
Hoyle F. 183

Israel W. 122, 266, 272, 280, 285

Jeans J. 299

Klein O. 103, 133, 165

Landau L.D. 61, 62, 109
Laplace P.S. 121

Mills R.I. 63
Misner C.W. 273
Moeller C. 64
Moroz B.Z. 145
Mukhanov V.F. 297

Narlikar J. 183
Ne'eman Y. 105, 164
Novikov I.D. 103, 105, 120, 144, 145, 148, 164, 285

Papapetrou A. 107, 108, 162, 191
Penrose R. 121
Planck M. 136, 142
Poisson E. 272, 280
Price R.H. 116, 117
Prometheus 198

Schwarzschild K. 114
Stodola A. 198
Straus E. 198

Thorne K. 273
Tolman R. 134

Vaidya P.C. 122
Vandakurov N.N. 145
Vilkovisky G.A. 156, 157, 182

Wheeler J.A. 101, 132, 133, 136, 141, 161, 188, 189, 273
Wiener N. 187
Witt De B.S. 130–133, 189, 191

Yang C.N. 63

Zel'dovich Ya.B. 103, 112, 144, 145, 148

СОДЕРЖАНИЕ

I. ГРАВИТАЦИЯ И КОСМОЛОГИЯ

Размышляя о физике... (1993) 7
Может ли гравитационное поле оказаться существенным в теории элементарных частиц? (1965) 11
Принцип Маха и физический вакуум в общей теории относительности (1969) 22
Метрика закрытого мира Фридмана, возмущенная электрическим зарядом (к теории электромагнитных "фридмонов") (1970). Соавтор *В П. Фролов* 24
К теории фридмонов (о роли гравитации в теории элементарных частиц) (1970) 41
On the Extended Particle Model in the General Theory of Relativity (1970) 58
О минимальных размерах частиц в общей теории относительности (1972). Соавтор *В.П. Фролов* 66
Замкнутые миры, содержащие источники массивного векторного поля (1973). Соавтор *В.П. Фролов* 89
К регуляризующей роли гравитационного поля (1973) 95
On Black and White Holes (1974) 101
Современные проблемы теории относительности (1979) 124
Максимоны и гипотеза максимонных роев (1979). Соавтор *В.П. Фролов* 128
Quantum Mini-Objects in General Relativity (Quantum Closed Friedmann Mini-World, Quantum Black Mini-Holes) (1980). Co-author *V.K. Mal'tsev* 130
On Quantum Violation of Topology in Small Spatial Regions (1980) 136
Maximon-Type Scenario of the Universe (Big Bang, Small Bang, Micro Bang) (1981) 142
Предельная плотность материи как универсальный закон природы (1982) 150
Some Remarks on the Problem of Very Early Universe (1983) 153
Asymptotic Freedom and Entropy in a Perpetually Oscillating Universe (1983) 167
Осциллирующая вселенная в случае $p \neq 0$ (1984). Соавтор *Э.Г. Аман* 171
Problems of a Perpetually Oscillating Universe (1984) 177
On the Problems of a Very Early Universe (1984). Co-author *V.F. Mukhanov* 200
De Sitter-like Initial State of the Universe as a Result of Asymptotical Disappearance of Gravitational Interactions of Matter (1985). Co-author *V.F. Mukhanov* 204
Макро-микросимметрическая вселенная (1986) 209
Существуют ли абсолютно закрытые вселенные? (1987) 240
О возможном состоянии вещества на предпоследней стадии коллапса (1987) 244
О физическом толковании уравнения Шредингера и волновая функция вселенной (1987) 248
Classical Preferable Basis in Quantum Mechanics (1988). Co-author *V.F. Mukhanov* 258
Through a Black Hole Into a New Universe? (1989). Co-authors *V.P. Frolov, V.F. Mukhanov* ... 264
Black Holes as Possible Sources of Closed and Semiclosed Worlds (1990). Co-authors *V.P. Frolov, V.F. Mukhanov* 271
The Universe as a Whole is a Composite System of Numberless Sets of Universes That Are Also Composite (1990) 294

The Problem of Dark Matter and Stable Elementary Black Holes (maximons) (1993) 298
О возможном существовании в природе асимптотической свободы гравитационных взаимодействий (1994) 300
Может ли асимптотическая свобода гравитационных взаимодействий нарушить энергодоминантность классической космологии? (1994) 326

II. ПУБЛИЦИСТИЧЕСКИЕ СТАТЬИ

Будущее науки (ускорители элементарных частиц следующих поколений) (1973) 333
Ученые и будущее человечества (1981) 358
Научились ли мы мыслить по-новому? (к двадцатилетию Пагуошского движения) (1977) 366
Эйнштейн о мире (1981) 377
Письмо академика М.А. Маркова членам Исполкома Пагуошского движения (1987).... 384
Письмо участников 37-й Пагуошской конференции (1987) 387

III. ЗАРИСОВКИ НА ЗАСЕДАНИИ ПРЕЗИДИУМА АКАДЕМИИ НАУК

IV. ВОСПОМИНАНИЯ О ФИЗИКАХ

Юрий Борисович Румер 405
Вольфганг Паули 409
Сесил Пауэлл 421
Шоичи Саката 424
Хидеки Юкава 428
С. Томонага 437
Александр Александрович Фридман 439
Бруно Понтекорво 447
Gaudeamus igitur... (из воспоминаний о С.И. Вавилове) 452
С.И. Вавилов и теория относительности 457
Слово на юбилее И.Е. Тамма 460
Приватный доцент Мандельштама 461
Фредерик Рейнес 463
Глеб Васильевич Ватагин 469
Об одном письме Н. Бора 471

V. ИЗ ДАЛЕКОГО ПРОШЛОГО
(автобиографические заметки)

Пророк (1914) 481
Гожие (1916) 483
"За что Каин убил Авеля?" (1916) 484
Граждане свободной России (1917) 485
Nonsens 486
День сельского комиссара 487

Комиссар 488
"Его" ватник 490
Невинная жертва 491
Беспризорник (лето, 1922) 493
Незаряженное ружье стреляет... (Приишимье, 1923) 495
О логике в железнодорожном деле 495

ПРИЛОЖЕНИЯ

Ошибка физиолога Ню 501
Размышляя о вселенной (последняя работа М.А. Маркова) (1994) 600
Список трудов М.А. Маркова 628
Авторский указатель 635

Научное издание

Марков Моисей Александрович

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

Том II

Гравитация и космология, публицистические статьи, воспоминания о физиках, автобиографические заметки . Приложения: Ошибка физиолога Ню. Размышляя о вселенной

Утверждено к печати Ученым советом Института ядерных исследований РАН

Зав. редакцией *Н.Л. Петрова*. Редактор *Т.А. Николаева*. Художественный редактор *В.Ю. Яковлев*
Технический редактор *А.Л. Шелудченко*. Корректоры *З.Д. Алексеева, Н.И. Харламова*

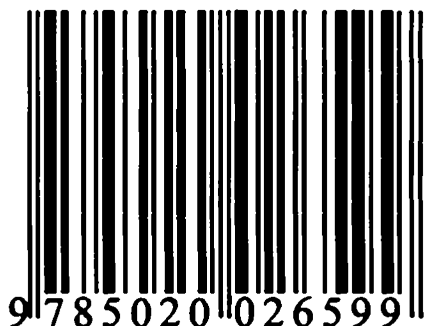
ЛР № 020297 от 23.06.1997

Налоговая льгота –
общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2; 953000 – книги, брошюры

Подписано к печати 08.11.2001. Формат 70 × 90 $^{1}/_{16}$. Гарнитура Таймс. Печать офсетная
Усл.печ.л. 48,55. Усл.кр.-отт. 50,2. Уч.-изд.л. 45,6. Тираж 300 экз. Тип. зак. 4985

Издательство "Наука", 117997 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90
E-mail: secret@naukaran.ru. Internet: www.naukaran.ru
ППП "Типография "Наука", 121099, Москва, Шубинский пер., 6

ISBN 5-02-002659-X





*М А Марков на 3-й Всесоюзной гравитационной конференции.
Цахкадзор (Армения), 1972 г.*



М.А. Марков на заседании Ученого совета ИЯИ АН СССР Пахра, 70-е годы



Директор ИЯИ АН СССР А.Н. Тавхелидзе представляет М.А Маркову план строительства Мезонной фабрики. Пахра, 1971 г



Обсуждение плана строительства Мезонной фабрики. Пахра, 1971 г.



Визит Президента АН СССР академика М.В. Келдыша на строительство Мезонной фабрики ИЯИ АН СССР, 1972 г.





Визит Президента АН СССР академика М В Келдыша на строительство Мезонной фабрики ИЯИ АН СССР, 1972 г



М.Г Мещеряков, П.А Черенков, М А Марков на XVIII Международной конференции по физике высоких энергий. Тбилиси, 1976 г Фото Ю Туманова



М А Марков и Б.М Понтекорво на Международной конференции по физике нейтрино и нейтринной астрофизике. Баксанское ущелье, Чегет, 1977 г



V Международное совещание по нелокальной квантовой теории поля. Слева направо·
М А Марков, В П. Фролов, В Д. Скаржинский, В.Я. Файнберг Алушта, 1979 г.
Фото Ю Туманова



V Международное совещание по нелокальной квантовой теории поля. Слева направо·
В Я. Файнберг, М А. Марков, В.И Огиевецкий. Алушта, 1979 г. Фото Н. Горелова



М.А. Марков на V Международном совещании по нелокальной квантовой теории поля Алушта, 1979 г Фото Н Горелова



V Международное совещание по нелокальной квантовой теории поля. Слева направо. Ю.М Широков и М.А. Марков. Алушта, 1979 г. Фото Н. Горелова



Визит Президента АН СССР академика А.П. Александрова в ИЯИ АН СССР Слева направо· М А Марков, А Н Тавхелидзе, В.Д. Бурлаков, А.Е. Чудаков, А П Александров, Е П Велихов, С К Есин Пахра, 1980 г Фото Ю Туманова



В ИЯИ АН СССР. Слева направо: С.К. Есин, М.А. Марков, З.П. Зарапетян, Е.П. Велихов, А.Н. Тавхелидзе. Пахра, 1980 г. Фото Ю. Туманова



В ИЯИ АН СССР Слева направо З П Зарапетян, Е Г Насонкина, М А Марков, А Н Тавхелидзе Пахра, 1980 г Фото Ю Туманова



В ИЯИ АН СССР. Слева направо. А Е Чудаков, В М Лобашев, Е.П Велихов, М.А Марков
Пахра, 1980 г Фото Ю Туманова



Визит делегации ОИЯИ (Дубна) в ИЯИ АН СССР. Слева направо П Н Боголюбов, А Н Тавхелидзе, В А Матвеев, Н Н Боголюбов, А Н Сисакян, З П. Зарапетян, М А. Марков, Пахра, 1980 г Фото Ю. Туманова



Визит делегации ОИЯИ (Дубна) в ИЯИ АН СССР. Слева направо: А.Н. Тавхелидзе, Н.Н. Боголюбов, З.П. Зарапетян, М.А. Марков, П.Н. Боголюбов, В.А. Матвеев. Пахра, 1980 г. Фото Ю. Туманова



Директор ИЯИ АН СССР А.Н Тавхелидзе и М.А. Марков. Пахра, 1980 г.
Фото Ю Туманова



Директор ИЯИ АН СССР А Н. Тавхелидзе, академик Н.Н. Боголюбов и академик М А. Марков во время визита делегации ОИЯИ (Дубна) в ИЯИ АН СССР, 1980 г. Фото Ю Туманова



М А. Марков, 1980 г. Фото Ю Туманова



Выступление М А Маркова в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ Дубна, 1986 г.
Фото Ю Туманова



М.А. Марков, 1980 г



М.А Марков и Б.С Де-Витт 3-й Международный семинар "Квантовая теория гравитации" Москва, 1984 г.



*Е С Фрадкин, М А Марков, И Д Новиков 3-й Международный семинар "Квантовая теория гравитации".
Москва, 1984 г Фото В К Мальцева*



М А Марков и Р. Руффини. Конференция, посвященная 100-летию А А Фридмана Ленинград, 1988 г.



Размышляя о Вселенной



Моисей Александрович МАРКОВ

II





КЛАССИКИ НАУКИ



Моисей Александрович

МАРКОВ

«НАУКА»

КЛАССИКИ НАУКИ

Моисей
Александрович
МАРКОВ

«НАУКА»